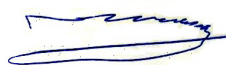


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ**

КАФЕДРА АКУСТИЧНИХ ТА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



С.А. Найда

ініціали, прізвище)

“ 01 ” червня 20 20 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності (спеціалізації)

171 - Електроніка

(код і назва)

на тему: «Ультразвуковий апарат для очищення медичних інструментів»

Виконав: студент 4 курсу, групи ДГ-г61-1
(шифр групи)

Крячко Михайло Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник:

доцент кафедри АМЕС, к.т.н., доц. Дрозденко Олександр Іванович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Рецензент:


доцент кафедри ЕПС, к.т.н., Волківський Вадим Борисович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент Крячко М.С.



(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Електроніки
(повна назва)

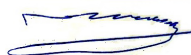
Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 « Електроніка»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



С.А. Найда

(ініціали, прізвище)

« 01» червня 20 20р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Крячку Михайлу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Ультразвуковий апарат для очищення медичних інструментів»

керівник роботи Дрозденко Олександр Іванович, к.т.н., доц., доцент кафедри АМЕС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 25 » 05 2020 р. № 1196-с

2. Термін подання студентом роботи 07.06.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи

Огляд джерел інформації, аналіз теоретичного матеріалу, існуючі розробки у даній сфері, процес виготовлення перетворювачів, розрахунок схем живлення в акустичних системах.

4. Зміст роботи: Аналітичний огляд, фізична природа очищення за допомогою ультразвуку, огляд патентів та приладів-аналогів, розробка апарату на структурному рівні, розробка функціональних вузлів апарату.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Ілюстративний матеріал - презентація в Power Point.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 03.02.2020 р. _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	29.02 – 05.04	виконано
2	Написання вступу	05.05 – 06.05	виконано
3	Написання 1-го розділу	07.05 – 17.05	виконано
4	Написання 2-го розділу	19.05 – 01.06	виконано
5	Проведення дослідження та оформлення результатів	05.04 – 04.06	виконано
6	Написання 3-го розділу та висновків до роботи	19.05 – 28.05	виконано
7	Оформлення всієї роботи та підготовка презентації	01.06 – 10.06	виконано

Студент



(підпис)

Крячко М.С.

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи



(підпис)

Дрозденко О.І.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Ультразвуковий апарат для очищення медичних інструментів // Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр». Крячко М.С. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем, група ДГ-г61-1. – К.:НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2020 с. – 75, рис. – 18, табл. – 2.

В данній роботі розглядаються відомі данні по ультразвуковій кавітації. Шляхи виникнення кавітації, фізичні принципи що покладені в основу, а також, побудова приладів на даному ефекті, на прикладі декількох патентів.

Подальша розробка приладу для УЗ очищення медичного обладнання за наявним матеріалом, розрахунок компонентів схеми, а саме, УЗ п'єзокерамічного перетворювача і схеми живлення перетворювача. Також, приведена структурна схема самого приладу, розроблена з урахуванням даних розглянутих у роботі.

Ключові слова: очищення, кавітація, ультразвук, УЗ перетворювач.

ABSTRACT

Ultrasonic apparatus for purification of medical instruments // Graduate work for obtaining the degree of higher education “Bachelor”. Kriachko M.S. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. Faculty of Electronics, Department of Multimedia and Acoustic Electronic Systems, group DG-g61-1. – K.: NTUU “KPI”, 2020 p. – 75, fig. – 18, tab. – 2.

This work considers the known data on ultrasonic cavitation. Ways of cavitation, the physical principles underlying, as well as the construction of devices on this effect, on the example of several patents.

Further development of the device for ultrasonic cleaning of medical equipment based on the available material, calculation of the components of the circuit, namely, ultrasound of the piezoceramic transducer and the power supply circuit of the transducer. Also, the block diagram of the device is developed, developed taking into account the data considered in work.

Key words: Cleaning, cavitation, ultrasound, ultrasonic transducer.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1. Аналіз методів очищення виробів.....	14
1.2. Фізична природа очищення за допомогою УЗ: Кавітація.....	17
1.3. Приклади реалізації апаратів, їх технічні характеристики.....	29
1.4. Аналіз конструкційних рішень апаратів на основі патентних... досліджень.	36
Висновки до першого розділу.....	40
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТУ НА СТРУКТУРНОМУ РІВНІ.....	42
2.1. Розрахунок параметрів ультразвукового очищення.....	42
2.2. Розробка структурної схеми апарату.....	44
2.3. Вимоги до окремих блоків і вузлів апарату.....	48
Висновки до другого розділу.....	49
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ АПАРАТУ.....	51
3.1. Розробка конструкції електроакустичного перетворювача.....	51
3.1.1. Опис конструкції електроакустичного перетворювача.....	51
3.1.2. Розрахунок електроакустичного перетворювача.....	53
3.2. Розробка принципової електричної схеми.....	56
3.3 Будова апарату для ультразвукового очищення.....	59
Висновки до третього розділу.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	63
ДОДАТКИ.....	67

ВСТУП

Актуальність розробки нових УЗ апаратів для очищення медичного обладнання, мета та задачі роботи: ріст малоінвазивної хірургії дав поштовх розвитку складному ендоскопічному інструменту, що доповнює сучасну техніку огляду лікарів. Але, на жаль і на турботу багатьох працівників переробної промисловості та інфекційного контролю на практиці, ці складні інструменти, як правило, не розраховані на те, щоб проходити очищення і стерилізацію. Деякі з них мають делікатні пластмасові компоненти, дуже легко пошкоджені при нагріванні, що виключає стерилізацію паром.

Яскравим прикладом є гнучкі ендоскопи. В той час як пар буде проходити над поверхнями хірургічних інструментів і при конденсації випускає енергію що знищує найстійкіші мікроорганізми, а низькотемпературні гази, пари та рідкі стерилізатори потребують прямого контакту щоб бути ефективним, ультразвуковий метод кавітаційного очищення пропонує глибоке очищення від механічних забруднень.

Окрім того, фізичне проектування цих приладів включає в себе вузькі канали і отвори, що перешкоджають потрапляння низькотемпературних агентів на кожну забруднену поверхню, відповідності до потреб, заявлених для досягнення стерилізації.

В доповнення до гнучких ендоскопів, пінцет для біопсії також є зразком складного інструмента, що не полегшує своєю будовою очищення усіх поверхонь, зокрема шарнірного механізму, що контролює закривання і закривання чаші. А також, ускладнює процес і те, що вони складні і спроектовані з гнучким дротом і просвітом в центрі і можуть бути уражені органічним матеріалом пацієнтів. Пінцет для біопсії розроблений з використанням таких матеріалів як нержавіюча сталь, що може витримати жорсткість і напругу парової стерилізації.

Повідомлень про передачу захворювань після автоклавної біопсії за пінцетом, після обробки паром хоча і не було, це не дає стовідсоткову гарантію. Наприклад, був

випадок неповноцінного очищення пінцету для біопсії парою під тиску і замість цього був використаний низькотемпературний агент двовідсоткового гултральдегіду.

Для досягнення мети було поставлено ряд завдань:

- Провести огляд літаретури за тематикою роботи. Аналіз методів очищення виробів.
- Порівняти існуючі методи очищення з метою виявлення недоліків і зазначити переваги УЗ методу.
- Розрахувати основні параметри апарату для УЗ очищення медичних приладів.
- Розрахувати параметри магніто-стрикційного перетворювача, що входить в конструкцію апарату для УЗ очищення.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Очищення є невід'ємним компонентом практично всіх процесів обробки медичного обладнання.

Декілька організацій по ендоскопії і інфекційному контролю опублікували вказівки по правильних методах очищення і стерилізації гнучких ендоскопів, пінцетів для біопсії і інших типів ендоскопічних інструментів. Якщо інструменти помічені для повторного використання, потребують попереднього очищення із застосуванням щітки і миючих розчинів для видалення органічних залишків пацієнтів.

Оскільки складні ендоскопічні прилади можуть залишатися ураженими залишками пацієнтів навіть після ручного видалення за допомогою щітки, більшість рекомендацій радять використовувати ультразвукові методи для усунення дрібного сміття залишеного на минулих процедурах, який у протилежному випадку міг бути неусуненим і залишитися на інструменті. Якщо в процесі очищення не відбувається ефективного видалення мікроорганізмів і органічні забруднення навіть в самих важкодоступних місцях ураженого інструменту, процес стерилізації може провалитися. Розвиток передових технологій очищення, що можуть пристосуватися навіть до складних хірургічних операційних інструментів і очищення самих складнодоступних внутрішніх поверхонь має рішуче значення для упередження інфекції пацієнтів.

Різноманітні типи очисних приладів, сконструйованих для настільного використання, використовують ультразвукову енергію для оптимізації очисних якостей. Ця енергія виробляється перетворювачами, встановленими назовні технологічного басейна, корпус якого найчастіше вироблений з нержавіючої сталі. При живленні від електрогенератора ці перетворювачі стискаються і розширюються на дуже високій частоті, перетворюючи електричні коливання в енергію ультразвукових хвиль.

Ці звукові хвилі високої інтенсивності зазвичай варіюються на частотах від 20 до 120 кГц. Для посилення ефективності передачі цих хвиль, необхідне повне

занурення медичного обладнання у рідину, наприклад у миючі розчини. Незважаючи на те, що ультразвукові хвилі не сприймаються людським вухом, головна, або фундаментальна частота очищувача може випромінювати чутний для людини звук. По мірі їх розповсюдження через розчини миючого засобу, ці ультразвукові хвилі утворюють чередовані розтягуючі і стискаючі сили, що коливаються на частоті перетворювачів що їх утворюють. Ці коливальні сили утворюють міріади мікроскопічних, порожнин, кавітаційних бульбашок у миючому розчині. Щойно вони досягають критичного порога, ці порожнини різко колапсують, або ж вибухають, утворюючи в свою чергу субмікроскопічні порожнечі, в ході процесу що й називають кавітацією.

Ці порожнечі викликають утворення високоенергетичних гідравлічних ударних хвиль, які в свою чергу утворюють потужний, всмоктуючий ефект. Ці ударні хвилі можуть досягати температури до 5537 градусів по Цельсію і гідродинамічний тиск до 680 атмосфер. Що фізично послаблює та видаляє мікроорганізми і інший прилипаючий непотріб навіть з найважкодоступніших поверхонь забрудненого інструменту.

Протягом багатьох років, було опубліковано багато досліджень що демонструють надійність і ефективність ультразвукового методу. Деякі з цих досліджень довели ефективність УЗ методу очищення при стандартизації процесу промислового очищення обладнання, видалення висушеної сироватки, цільної крові і вірусів з забруднених інструментів.

Інші дослідження показали, що ультразвукові очисники значно ефективніше ручних засобів очищення, які важко стандартизувати і що можуть варіюватися в залежності від людини що виконує цю роботу. У відмінності від ручного методу, автоматизоване і стандартизоване ультразвукове обладнання для очищення та скраблювання, більш надійні і призначені навіть для тих поверхонь, які в іншому випадку не можуть бути очищені традиційними методами.

В той час як ручне очищення призначене для видалення крупних забруднень з поверхонь приладів, ультразвукові очищувачі призначені для видалення мікроорганізмів і інших дрібних забруднень з менш доступних поверхонь і закутків. В деяких повідомленнях говориться про те, що ультразвукове очищення, що йде після ручної чистки, призводить до ще більшого скорочення кількості залишків пацієнтів в порівнянні з тим, що було досягнуто тільки одним з методів. Одне дослідження показало, що всього три хвилини ультразвукового впливу було достатньо, щоб видалити більш ніж 99.9% крові на уражених інструментів. Хоча ефективність механічної чистки і залишає бажати кращого, ультразвукові очисні установки гарантовано покращать ефективність і кінцевий результат, особливо для хірургічних інструментів, таких як пінцет для біопсії, які в своїй будові мають складні елементи, шарніри, і інші внутрішні поверхні, які складно, а іноді і неможливо очистити вручну.

Не дивлячись на всі переваги, ультразвукове очищення, як і будь який метод дезінфекції, має певні обмеження, і розуміння кожного з них, дозволяє безпечно і ефективно експлуатувати дані прилади. Наприклад, через агресивну скрабуючу дію, ультразвукова обробка не показана для всіх медичних інструментів. Хоча і інструкції по переробці медичного обладнання рекомендують ультразвукову обробку як невід'ємну частину підготовки попередню до термінальної стерилізації, деякі інструменти можуть бути виготовлені з делікатних матеріалів, схильних до подразнень кавітаційним впливом, що виключає використання ультразвуку в очищенні.

Матеріали, такі як кварц, кераміка, кремній і високовуглецева сталь можуть бути уражені ерозією, або отримати мікротріщини після довгочасного впливу ультразвукової кавітації. Ерозія, викликана ультразвуковою енергією може бути мінімізована, якщо не усунена цілком, однак, це буде коштувати потужності і часу очищення. Огляд інструкції по експлуатації кожного приладу, допоможе визначити, протипоказаний досліджуваний метод очищення, чи ні і чи рекомендований він його виробником.

Ультразвукове очищення зазвичай виконується у багатоетапному процесі, котрий починається з ручного видалення великих залишків. Цей крок виконується одразу після того, як інструмент був використаний по призначенню, для того, щоб попередити висихання залишків. А вже після ручної чистки прилад поміщають в ультразвуковий очисний прилад. Цей етап очищення особливо важливий для видалення дрібного сміття, котрий, можливо, не був прибраний під час попереднього етапу. Деякі ультразвукові очищувачі можуть автоматично вприскувати миючі засоби в технічний басейн приладу, а також, змастити інструмент для запобігання утворення корозії перед термінальній стерилізації. Деякі з них можуть також бути оснащені канальними адаптерами, що ретельно промивають розчин з каналів та отворів інструментів. В цілому, ультразвукові очищувачі оснащені таймером і контролем температури, для того щоб відрегулювати час очищення, і збільшити температуру миючого засобу відповідно.

Вони також можуть бути оснащені органами керування, що дозволяють регулювати їх вихідну потужність і частоту. Також, в їх будову входять кришки, що зменшують вплив на персонал потенційно шкідливих забруднювальних речовин і аерозолей, що можуть утворитися під час очищення, а також, лотки для інструментів, тримачі і кошики, але це не завжди входить до стандартної комплектації.

Декілька факторів можуть поліпшити чи обмежити ефективність роботи ультразвукового очищувача. І не один із них не був настільки важливий, як фізичні властивості очисного розчину (або іншого рідкого середовища), через яке поширюються ультразвукові хвилі. Коротко, амплітуда ультразвукових хвиль безпосередньо пропорційна електричній потужності прикладеної до перетворювачів. Кавітація не буде відбуватися, якщо амплітуда цих хвиль, і відповідно електрична потужність, перевищує мінімальне порогове значення.

Зміна властивостей усіх, чи по одній, очисного розчину, що включають в себе густину, тиск парів, температуру і поверхневий натяг, імовірно може вплинути на ефективність очищення.

У додаток до помочі у видаленні лікарняних залишків з забруднених інструментів, очисні засоби підвищують ефективність очищення за рахунок зниження поверхневого натягу води. Цей ефект підвищує ефективність очищення:

- Полегшує передачу ультразвукових хвиль через розчин миючого засобу.
- Зниження мінімальної кількості ультразвукової енергії необхідної для виникнення явища кавітації.
- Зменшення опору потоку миючого засобу що проходить крізь канали та отвори інструменту.

Миючий засіб спеціально розроблений для ультразвукового очищення, повністю сумісний за сучасними об'єктами очищення і рекомендується для підвищення ефективності процесу. Нейтральні та лужні розчини використовуються найчастіше і саме на цих основах лежать майже усі рецепти.

Температура також являється важливим фактором в фізиці процесу і ефективності.

Підвищення температури призводить до відповідному збільшенню тиску пари миючої солюції і зниження мінімальної енергії необхідної для кавітації. Таким чином, змішування миючого засобу з теплою водою, є рекомендованим варіантом, і підвищує ефективність ультразвукових очисних апаратів. Температура від -11°C до 60°C відповідно, зазвичай вказується для засобів на водній основі, Авжеж, для уникнення подразнення хірургічного обладнання, температура води не може перевищувати критичні для приладу температури. Також, оскільки є повідомлення про розмноження бактерій в миючому розчині, сам розчин і його аерозолі, протягом дня, рекомендується використовувати свіжий об'єм води для розведення нових засобів, і використання для очищення.

У доповнення до підвищення продуктивності персоналу, працюючого з даним видом обладнання і мінімізації контакту людини з оброблюваними інструментами, ультразвукові очищувачі виявились більш ефективними та дійовими ніж ручне

очищення, яка являється більш трудомістким і результати якої є непостійними і непередбачуваними.

Інші, менш очевидні переваги ультразвукової енергії включають у себе підвищення спорицидних властивостей, рідких очисних та стерилізуючих агентів. Одне дослідження показало, що ультразвукова енергія скорочує час необхідний для розчинення гульטרальдегіду, що сприяє знищенню бактеріальних ендоспор з 3.5 годин, до 30 хвилин.

В той час, як популярність низькотемпературних процесів стерилізації зростає, більш прискіпливо і з уважно треба віднестись до оптимізації процесу, щоб компенсувати низку гарантію стерилізації низькотемпературними методами, в порівнянні з термічною стерилізацією.

Розробка інструментів що полегшають очисний процес і не можуть бути пошкодженими кавітацією зараз є ключовою цілю.

1.1. Аналіз методів очищення виробів

Отже. Які переваги має ультразвуковий метод очищення і що може конкурувати?

Як нам вже відомо, очищення медичного обладнання складається з трьох етапів.

- Очищення — Видалення великих решток/біологічних забруднювачів.
- Дезінфекція — Усунення дрібних решток, та видалення бактерій.
- Стерилізація — Знищення залишків мікроорганізмів, спор, та інших забруднень.

Деякі з приладів в побуті несуть декілька функцій за раз. Але зараз розглядається саме другий, оскільки ультразвукові очисні апарати класифікуються саме як дезінфікуючі/стерилізуючі.

В якості хімічного методу, розглядається очищення щільною піною, агресивного розчину лугу. Такий розчин, через пористу структуру, не проводить ультразвукові хвилі, і суміщення досліджуваного методу з цим не є доцільним. Піна що утворюється в


процесі проникає глибоко у канали та порожнечі певного виробу, розчиняючи в процесі фізичні та біологічні забруднення. Однак, дії такої піни недостатньо щоб вивести рівномірно увесь бруд, а також, витікає проблема, в тому, що відсутня можливість повністю вивести розчинені забруднення з виробу.

Наступною альтернативою, є очищення шляхом впливу реагентів, випаровувань, та пари під високим тиском. Для цього використовують спеціально спроектовані лотки-сітки, для усунення контакту з персоналом, і клапанові пістолети-розприскувачі, для спрямованої дії очисного агенту.

Даний метод є одним з найдієвіших, однак, потребує довгочасного впливу, утворюючи агресивні умови, що можуть нанести шкоду чутливим до температури, чи до хімічних подразників. Саме тому даний метод підходить для простих інструментів, з нержавіючої сталі.

Таблиця 1.

Переваги	Очищення від крупних решток	Очищення від дрібних решток	Видалення фізичних забрудників\сироватки	Знищення мікроорганізмів	Знищення патогенів спорового походження
Методи					
УЗ очищення					
Хімічне очищення					
Очищення агентами під тиском					
Очищення безпосереднім фізичним впливом					

 - Найбільший ефект

 - Є ускладнення

 - Погано справляється з задачею.

Також, разом з приведеними засобами, не варто відкидати традиційний метод — механічне очищення за допомогою щіток. Сучасні щітки для медичного використання виробляють з міцної, високовуглецевої сталі і нейлонових волокон. Це дозволяє

видалити більшість крупних та дрібних решток, однак, як зазначалось раніше, не дозволяє досягти стовідсоткового результату. Для більш наглядного прикладу, порівняння методів наведено в Таблиці 1.

Варто докладно розібрати дану оцінку кожному методу очищення.

1. Ускладнення в УЗ методу виникають під час видалення великих залишків та при знищенні дрібних спор та мікроорганізмів. Як і зазначалося, ультразвукова енергія може покращити якості спорицидної дії миючих розчинів, однак, стовідсоткового результату добитися неможливо. Для цього і призначений етап стерилізації. А що до великих решток — їх важко вивести з приладу, особливо якщо в його складі є складні структури.
2. Червоний маркер на очищенні від великих залишків був присвоєний хімічному очищенню, по тій же причині, що і УЗ методу. Однак на відміну від УЗ методу, відсутній постійний потік рідини, здатний вимити забруднювачі. Вони будуть пом'якшуватись і залишатись на своїх місцях. По цій самій причині жовтий маркер був присвоєний і пункту про очищення від дрібних залишків. Жовтий маркер в останньому пункті був поставлений з тим, що данні агенти не достатньо активні для знищення шкідливих патогенів і спор.
3. Дія рідких агентів, випаровувань чи пари під тиском чудово справляється з первинними забруднювачами, однак, оскільки час дії обмежений, у зв'язку з ризиком нанести шкоду обладнанню і персоналу, видалення більш дрібних фракцій, чи стійких мікроорганізмів може виявитись неможливим.
4. Очищення фізичним методом зазвичай передуює означеним раніше методам очищення. Воно несе ціль видалення виключно великих залишків пацієнтів на медичному обладнанню, і розглядати його для стерилізації — недоцільно.

Отже, це дає нам уявлення, в яких випадках ультразвуковий метод має переваги над іншими методами попереднього до стерилізації, очищення. Зрозуміло, що для досягнення найвищої ступені очищення вказані методи комбінують, однак сучасні

установки для ультразвукового очищення медичного обладнання, мають суттєві переваги перед аналогічними варіантами.

Очищення ультразвуковими хвилями, що проходять через спеціалізований розчин, полегшуючий розповсюдження хвиль, надає змогу підготувати інструменти перед як найкраще для подальшої стерилізації. Перспектива розвитку даної технології, на сьогодні, достатньо важлива для сучасної медицини, оскільки знаходження оптимальних комбінацій розчину та фізичних властивостей апарату для очищення надає змогу мінімізувати шкідливий вплив на обслуговуючий персонал, при цьому не наносячи шкоди чутливим поверхням.

1.2. Фізична природа очищення за допомогою УЗ: кавітація

Фізичні принципи, що лежать в основі коливальної поведінки найдрібніших бульбашок газів в рідині, що піддається впливу ультразвуку вже були розглянуті протягом років.

Результати математичного аналізу дозволяють припустити, що ці коливання іноді стають нестабільними, що призводить до виникнення явища кавітації., при яких бульбашка різко, миттєво колапсує у акустичний напівцикл, викликаючи високі температури і тиск. Роль, яку виконують мікроядра, резонансні бульбашки, розмір та інші фізичні властивості, що грають роль в ініціації кавітаційного процесу вже давно пояснені [1].

Свідчення, що підтверджують ці теоретичні прогнози, подані з особливим акцентом на сонолюмінісценцію, що забезпечує дослідження деякими нехімічними доказами утворення вільних радикалів.

Також, розглядаються і акустичні методи проведення сонохімічних дослідів. У водних розчинах при перехідних кавітаційних процесах, першочергово утворюються

атоми водню і гідроксильні радикали, котрі можна рекомбінувати у водень і пероксид водню, що можуть вступати в реакцію з розчинниками в газовому стані, при розмежуванні газ-рідина.

Досліджуються аналоги і різниці між сонохімією і хімією іонізуючих випромінювань. Використовуються спін-пастки і явище електронного спін-резонанса для того щоб ідентифікувати атоми водню і гідроксильні радикали і зареєструвати виникаючу перехідну кавітацію [2], з допомогою неперервної хвилі і імпульсного ультразвукового випромінювання. Вивчення хімічних ефектів кавітації в органічних рідинах являється відносно невивченою областю, котра нещодавно стала предметом підвищення зацікавленості. Приклади розкладання розчинника, полімеризації і деструкції полімерів вже є в наяві. Спін-пастка використовувалась для ідентифікації радикалів в органічних рідинах, при розкладенні полімерів і при розкладенні металоорганічних сполук.

Інтерес до кавітації, що виникає при появі нових газових чи парових бульбашок, якщо вона утворюється в рідині, згадується, у крайньому разі, ще 125 років тому [3]. Навіть сьогодні ця тема виглядає привабливо, так як вона вивчається для різноманітних застосувань, що включають в себе гідравліку, декомпресуючу хворобу, сонохімію, а також, що найважливіше, медико-біологічну та ультразвукову техніку. Пропоную, загострити увагу саме на ультразвуковій природі кавітації та використанню її в медичній сфері.

В акустичній кавітації звукова хвиля зазвичай використовується синусоїдальної форми, що викликає варіативний тиск на існуючі полонини в розчині [1] (Рис.1). Під час циклу від'ємного тиску, рідина розривається в деяких місцях, що заповнюються певними випаровуваннями або ж газами. Такі місця відомі як "Слабкі місця рідини". Кількість бульбашок, що виникають під час цього циклу "Послаблення" пропорційна до щільності таких слабких місць, присутніх у рідині [2].

Існують два відомих механізми утворення полонини чи бульбашок у рідинах [1]. Перший механізм включає в себе до цього існуючі бульбашки в рідині, що стабілізовані органічною оболонкою та забруднювачами, що і допомагає уникнути розчинення у рідині. Другий механізм заснований на існуванні у рідинах твердих частинок, молей, з газом, в скупченні яких може бути вкраплення газів. Також, можуть бути дрібні щілини в стінках контейнера, чи резервуара, що також можуть приховувати газ, з якого в подальшому утворюються кавітаційні бульбашки.

Тиск всередині газової щілини нижчий ніж тиск середовища. Відповідно газ дифундує в газову кишеню, провокуючи її збільшення. Слідом, утворюється бульбашка, яка відділяється від щілини під дією зовнішніх сил.

Як видно на рисунку, бульбашка, утворена одним за цих шляхів, може зростати, поки не досягне критичного розміру, відомого як резонанський розмір. Резонансний розмір бульбашки залежить від застосованої частоти звуку. Коли бульбашки досягають резонансних розмірів за рахунок процесу коалесценції, можуть відбутися два наступних випадки. Міхур може стати нестабільним і сколапсувати, під час одного з акустичних циклів, або декількох циклів. Це називають “Перехідною кавітацією”.

При другому можливо що бульбашка коливається протягом багатьох циклів, і наближається до ефективного лінійного резонансного розміру. Це називається “Стабільною кавітацією”.

Терміни перехідна та стабільна кавітація також використовуються для означення чи грають роль бульбашки в світовому випроміненні, сонолюменісценції, чи в хімічних реакціях [4].

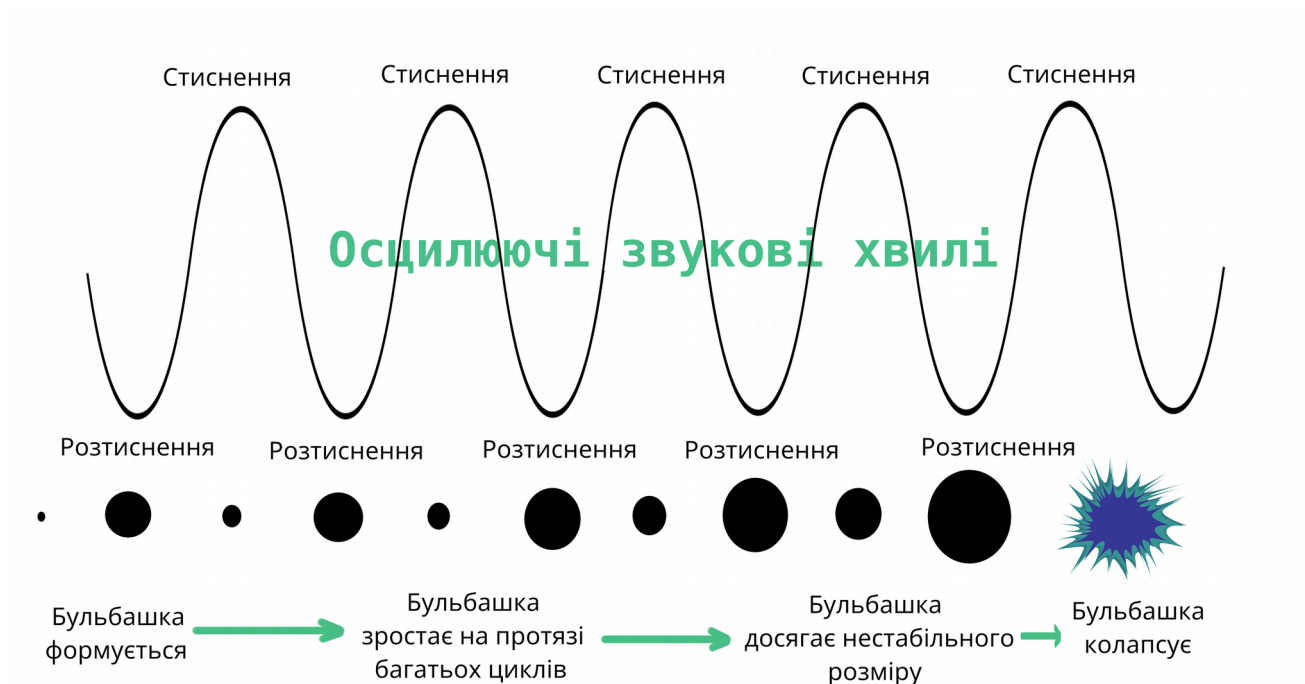


Рис. 1 Графічне зображення зростання бульбашки, протягом декількох циклів і її колапсації

Просте співвідношення, що може співвіднести резонансний розмір бульбашки з частотою, подається рівнянням нижче

$$F \times R \approx 3 \quad (1)$$

Де F - частота в Гц, а R - радіус бульбашок в М.

Варто звернути увагу, що дане рівняння дає лише дуже приблизний теоретичний резонансний розмір [1].

Більш точним варіантом виразу являється лінійний радіус резонансу, який можна розрахувати по наступному виразу [1].

$$R_r = \sqrt{\frac{3\gamma p_\infty}{\rho \omega^2}} \quad (2)$$

Де γ — це специфіковане співвідношення тепла газу всередині бульбашки, p_∞ — тиск рідини навколо, ρ — щільність рідини і ω — кутова частота ультразвуку. На

практиці, розмір активного міхура зазвичай менше, ніж цей радіус через нелінійний характер пульсації бульбашок [5].

На частоті ультразвуку 20 кГц, бульбашки, що утворюються в звуковому полі відносно великі, і їх руйнація призводить до виникнення потужних, ударних хвиль, що можуть бути корисні в різноманітних механічних процесах, наприклад в емульсифікації [3]. Між 100 і 1000 кГц, міхурці генеруються набагато дрібніші, однак їх колапсування викликає більш високе збільшення температур, що може бути корисним в сонохімічних цілях [6]. На частоті 1 МГц, кавітаційний ефект набагато слабший, однак є деякі промислові застосування в даному діапазоні частот, наприклад, делікатне очищення електронних компонентів, або чутливих до подразників частин медичного обладнання. Цей, більш високочастотний діапазон також використовується для утворення дрібнодисперсних розпилів та промислової візуалізації.

Пухирці газів в рідинах під впливом звуку може піти декількома шляхами, (як показано на рисунку 2). Пухирець може зустрітися з іншим у розчині і утворити більшу бульбашку. Це явище називають коалесценція. В насиченому газом розчині, наприклад у воді вище певного порогового тиску, індивідуальні бульбашки також можуть рости з плином часу, протягом декількох акустичних циклів. Це називається “Випрямленою дифузією”. Якщо бульбашки газу зростають, та стають занадто великими, вони можуть самостійно покинути систему, через їх плавучість, що називається процесом дегазації. Бульбашки певного розміру також можуть стати нестабільними і сколапсувати, вивільнюючи ударні хвилі та високі температури. Діапазон радіусів бульбашок про якому таке відбувається дуже широкий, і зазвичай набагато менший за радіус лінійного резонансу [5]. Колапс бульбашок іноді може супроводжуватись фрагментацією на менші газові міхурці. У певних умовах, також можна спостерігати світлове випромінення, і це явище називають сонолюмінісценцією. Бульбашки що знаходяться нижче порогового тиску для випрямної дифузії можуть просто розчинитися в розчині.

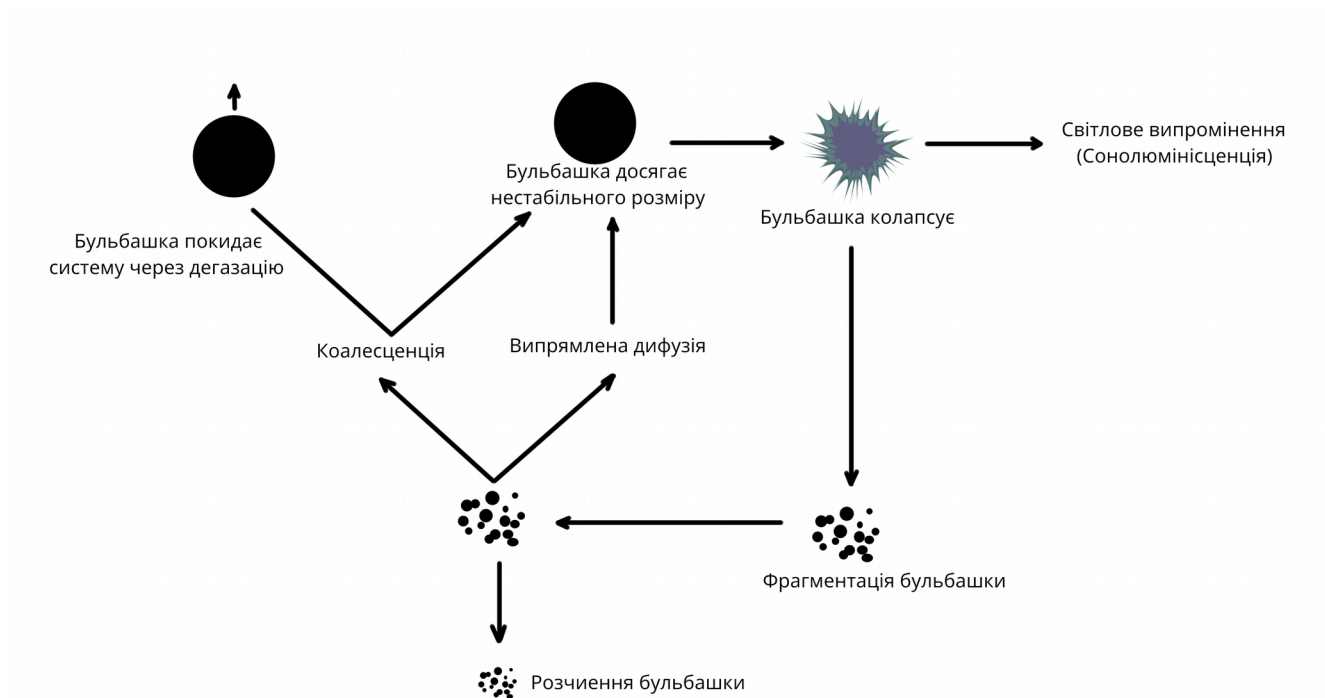


Рис. 2 Зростання часток бульбашок через коалесценцію, чи через випрямну дифузію.

Можна передбачити поведінку одного газового міхурця, при умові що відомі радіус, частота що використовується, тиск, і концентрація розчиненого у рідині газу.

Апфель [7,8], використовував рівняння для росту бульбашок, та порогових значень, розроблених Сафаром [9], для отримання графіків передбачення кавітації. Приклад такого графіку для частоти 10 кГц показана на рисунку 3 і ілюструє області різноманітної кавітаційної активності.

Область А — бульбашки знаходяться під інерційним контролем і зростання міхурців відбувається тільки через випрямну дифузію. При досяганні резонансу бульбашки колапсують.

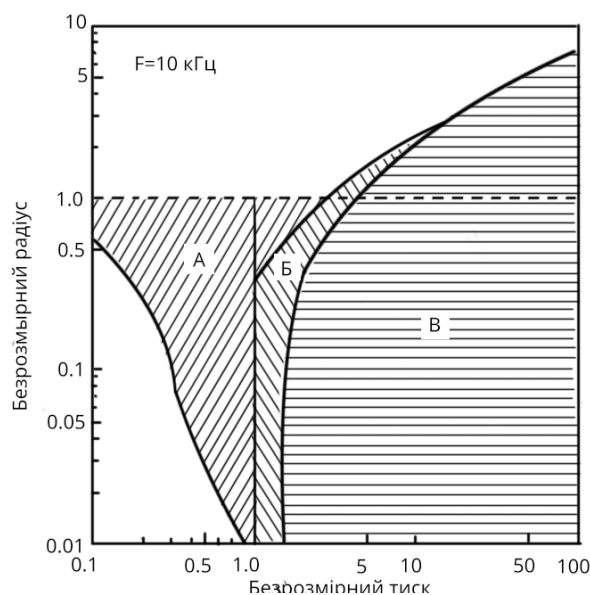


Рис. 3 Графік передбачення кавітації запропонований Апфелем.

Область Б — ріст за рахунок випрямної дифузії і за рахунок механічних впливів, хоча міхурець не є перехідним з початку. При фрагментації, мікробульбашки можуть існувати в області В.

Область В — ця область є перехідною областю для кавітації, а межа з областю Б вказує на поріг переходу, відомий також як поріг Блейка [10].

Рівняння Сафара дозволяє передбачити випрямну дифузію, поріг тиску P_D для бульбашки радіусу R_D і вказує на межу між областями А і Б:

$$\frac{P_D}{P_0} = \frac{[3\eta(1+2\sigma/P_0R_D) - 2\sigma/P_0R_D][1-\omega^2/\omega_r^2][1+2\sigma/P_0R_D - C_i/C_0]^{1/2}}{[6(1+2\sigma/P_0R_D)]^{1/2}} \quad (3)$$

Тут η — густина розчину, σ — поверхневий натяг, ω і ω_r — керуюча та резонансна частоти відповідно, P_0 — тиск оточувального середовища, C_i та C_0 — концентрації розчинених газів в рідині на віддаленні від бульбашки та при концентрації відповідно. Пороговий тиск Блейка P_B визначається формулою:

$$P_B = P_0 + \frac{8\sigma}{9} \left\{ \frac{3\sigma}{2[P_0 + (2\sigma/R_B)]R_B^3} \right\}^{1/2} \quad (4)$$

Непайрас [11] розробив аналогічні передбачення для перехідних значень, що базуються на критеріях Апфеля, для бульбашки в радіусі перехідного порогу, та порогового тиску Блейка. Він використовував інше рівняння Сафара [25], що включало в себе розмножувальний коефіцієнт, що розширив формулу таким чином, щоб вона застосовувалась для бульбашок до резонансу, а не тільки для $R_0 < R_r$.

Нещодавно, комп'ютерні симуляції, що виконав Ясуї [12], для різноманітних акустичних частот, були використані щоб показати різноманітні області поведінки бульбашок, а саме: Розчинення бульбашок, стабільні і нестабільні міхурці, що можуть

випускати сонолюмінісцентне випромінювання у вірних умовах, і “Дега” бульбашки, що осцилюють радіально і не можуть випромінювати світло.

В багатобульбашковій системі, поведінка міхурців більш непередбачувана, оскільки є багато шляхів, якими бульбашки можуть входити і виходити з системи, а також, багато шляхів, якими вони можуть зростати та руйнуватися. Однаково важко передбачити теоретично поведінку бульбашок і експериментально слідкувати за їх поведінкою в таких системах. Щоб зрозуміти поведінку бульбашок в акустичному полі, доцільно почати з самого простого випадку — коли лише один міхурець коливається в акустичному полі.

Рівняння Рейлінга-Плессета зазвичай використовується для моделювання фундаментального руху міхурця в акустичному полі. Для руху бульбашкової стіни ми отримали результат, що був запропонований Базантом [13].

$$\frac{P_L - P_\infty}{\rho} = R \ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 \quad (5)$$

Де R — це радіус бульбашкової стіни в будь-який момент часу. \dot{R} - швидкість стінки.

P_∞ - тиск рідини, P_L тиск в рідині на стінці бульбашки і ρ — густина.

Нольтінг і Непайрас [14,15] продовжили це фундаментальне рівняння для включення ефекту поверхневого натягу через Лапласового тиску бульбашки. Щоб прийняти це, при $R=R_0$ тиск газу в бульбашці $P_0 + 2\sigma/R_0$, де P_0 - оточуючий тиск в рідині, а σ — це поверхневий натяг. Адіабатична передача теплоти позначена як γ пропорційна до температури газу.

$$R \ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 = \frac{1}{\rho} \left[\left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2\sigma}{R} - P_\infty \right] \quad (6)$$

Густина для рідини була додана до рівняння пізніше Порицьким [16] і він показав, що цей термін виникає тільки в пограничних умовах, а не через рівняння Нав'єра-Стокса. При урахуванні коректив, рівняння стає:

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{1}{\rho} \left[\left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\eta\dot{R}}{R} - P_\infty \right] \quad (7)$$

Де η — густина рідини. Рівняння (5), (6) і (7) часто називають рівняннями Релея-Плессета і є фундаментальними для аналізу поведінки бульбашки.

Випрямна дифузія — зростання однієї бульбашки
Фундаментальні рівняння з минулого розділу були застосовані для моделювання процесу зростання бульбашок, чи розчинення, що відомо як випрямна дифузія. Це явище пов'язується з нерівномірним зростанням маси по міхурцю під час циклів стиснення і розширення спровокованих звуковими хвилями. Вище порогового тиску для випрямної дифузії, цей нерівномірний розподіл маси, змушує бульбашки повільно зростати. Якщо значення тиску нижче за порогове, міхурець розчинюється під дією більшого Лапласівського тиску утвореного на стінці бульбашки під впливом поверхневого натягу. Більш докладно про випрямну дифузію можна знайти у роботі Крума [17].

Еллер та Флін [18] розробили теорію, що враховує цей нерівномірний перенос маси по двом основним ефектам. Вони відомі як ефект області, та ефект оболонки. Обласний ефект відноситься до того факту, що дифузія газу в бульбашку відбувається під час фази розширення, у той час як дифузія з бульбашки відбувається коли бульбашка знаходиться у фазі стиснення. Оскільки швидкість дифузії у системі пропорційна до області для переносу маси, більше газу дифундує в бульбашку, а не з неї. Після деякої кількості акустичних циклів, чистий приток газу до міхурця призводить до його зростання. Ефект оболонки пов'язаний з розподілом газу на границі бульбашки, де і відбувається переозподіл маси. Коли бульбашка стискається, під час

фази стиснення, товщина оболонки бульбашки також збільшується. У той же час, у фазі розширення стінки бульбашки стають більш тонкими. Таким чином, градієнт концентрації нижче, коли бульбашка знаходиться в стисненому стані, що призводить до зниженню швидкості перерозподілу маси.

Рішення для рівняння випрямної дифузії являє собою інтерес для дослідження, оскільки воно ускладнено рухом оболонки бульбашки під час її осциляції. Рівняння було виведено двома різними шляхами, окремо Еллером і Фліном [18], та Хзіхом і Плессетом [19,20]. Більш детальне виведення можна знайти в відповідних статтях.

Розглянемо випадок Еллера та Фліна. Вони показали що зміна кількості молей n в газі бульбашки описується наступним чином:

$$\frac{dn}{dt} = 4\pi D R_0 C_0 \left[\left\langle \frac{R}{R_0} \right\rangle + R_0 \left(\frac{\langle (R/R_0)^4 \rangle}{\pi D t} \right)^{1/2} \right] H \quad (8)$$

Де H визначається:

$$H = \frac{C_i}{C_0} - \frac{\langle (\frac{R}{R_0})^4 (\frac{P_g}{P_0}) \rangle}{\langle (\frac{R}{R_0})^4 \rangle} \quad (9)$$

Загостренні дужки в цих випадках використані щоби показати середній час, де t це час. C_i це концентрація розчиненого в рідині газу на віддаленні від бульбашки, C_0 - концентрація насичення газом в рідині, а D це дифузність газу.

Крум [17] пізніше використав Еллерівське рівняння, і продовжив його, вносячи правку на термодинамічні процеси в системі. Кінцевий результат зміни радіусу сферичної бульбашки був виведений функцією по часу:

$$\frac{dR_0}{dt} = \frac{Dd}{R_0} \left[\left\langle \frac{R}{R_0} \right\rangle \left(1 + \frac{4\sigma}{3P_0 R_0} \right)^{-1} \left(\frac{C_i}{C_0} - \langle (R/R_0)^4 (P_g/P_0) \rangle / \langle (R/R_0)^4 \rangle \right) \right] \quad (10)$$

Де $d = R_g T C_0 / P_0$. Тут R_g — універсальна газова константа, а T — температура

Альтернативний математичний аналіз був наданий Ферілі і Шері [21-23], в серії робіт по аналізу феномену випрямної дифузії. Їх рівняння використовували Лагранжевські координати, а не сферичні, щоб урахувати граничні умови руху. Граничні умови по закону Генрі, описують концентрацію газу на поверхні стінки бульбашки.

Коалесценція бульбашок. В єдиній бульбашковій системі, єдиний шлях зростання бульбашки — через випрямну дифузію. Щоби дослідити поведінку багато-бульбашкової системи, ми повинні також розглянути процес коалесценції бульбашок.

Цей процес може бути описаний в три кроки [24,25]:

1. Бульбашки вступають в контакт з об'єктом і утворюють плівку товщиною від 1 до 10 мкм.
2. Плівка витончується.
3. Коли плівка починає розриватися через надмірне витончення, бульбашки коалесцюють.

Дослідження поведінки коалесценції при відсутності ультразвукових хвиль, також були проведені протягом останніх років і їх результати можна знайти у статтях Каїна, Лі, Барета, Крейга та інших.

В дослідженні Чудхарді і Хофмана [26], йдеться мова про комплексний огляд на поведінку газу при коалесценції бульбашок в рідинах. Дослідження Лі [27] і Сунарціо [28] показали, що поведінка коалесценції за відсутності ультразвуку, аналогічна поведінці при його наявності. Краще розуміння коалесценції в ультразвукових системах, в

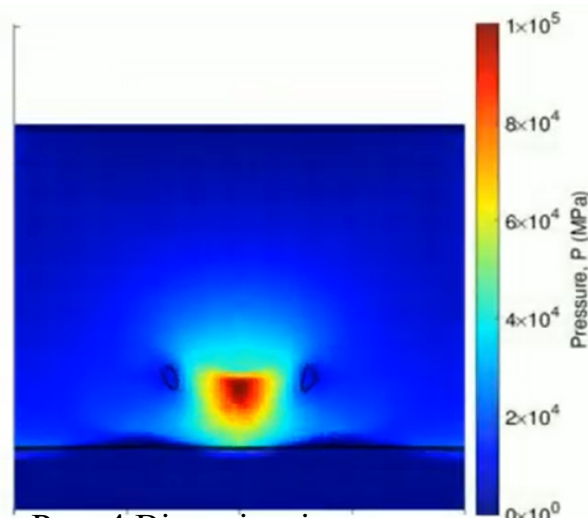


Рис. 4 Візуалізація тиску при колапсації кавітаційної бульбашки.

підсумку покращить ефективність ряду застосування гідропроектів, де велике значення грають кількість в розміри бульбашок.

Що стосується очисних якостей ультразвуку у очищенні різноманітних поверхонь. Під час одного з багатьох циклів зростання та стиснення бульбашки, вона колапсує, вивільнюючи енергію у вигляді температури, і тиску. При руйнуванні оболонки, у середині бульбашки утворюється великий тиск, що часто порівнюють з мікроскопічним вибухом, руйнуючи будь які механічні забрудники. Такого тиску часто вистачає навіть для того щоб пошкодити поверхню виробу. Кавітація на низьких частотах до 30 кГц може нанести значні пошкодження навіть найміцнішим металам. Як можна побачити, тиск що утворюється під час руйнування міхурця — сягає сотен тисяч паскалей. Такий тиск і руйнує структуру твердих забрудників, відділяючи їх від цільової поверхні.

Після руйнування кавітаційної бульбашки, і “Мікро-вибуху” над поверхнею утворюється негативний тиск, що спрямовує потужний потік рідини. У той час як перший етап колапсації корисний для видалення найдрібніших решток, другий - видаляє більш великі фізичні забрудники.



Рис. 5 Графічне зображення процесу колапсації бульбашки.

Як можна побачити на малюнку, потік рідини спрямовується перпендикулярно до поверхні, ретельно видаляючи забрудники. Така комбінація при ультразвуковому очищенні дає набагато кращі результати, у порівнянні з традиційними методами

очищення. Сили “Мікро-вибуху” вистачає для руйнування оболонки більшості спорових забруднень, і мікроорганізмів.

1.3. Приклади реалізації апаратів, їх технічні характеристики

Пропонується розглянути деякі приклади побудови апаратів для очищення обладнання, їх технічні характеристики та специфікації. Різні типи апаратів для різних типів робіт використовують різні перетворювачі, об’єми робочих ванн, потужності, та нагрівачі елементи для досягнення максимальної ефективності.

А також, у певних конструкцій є обмеження. У той час як магнітострикційні перетворювачі є самими популярними в промислових апаратах, пьезокерамічні використовують набагато рідше, у зв’язку з нижчою ефективністю, однак, в той самий час, потужні магнітострикційні системи працюють на менших частотах і можуть нанести шкоду чутливим виробам з пластмаси і інших м’яких матеріалів.

Деякі з приладів застосовують різні типи перетворювачів одночасно, комбінуючи декілька різних частот. Використання такої технології досить складне, оскільки підібрати правильний набір частот, при яких буде відбуватися явище ультразвукової кавітації — важко. Зазвичай використовують масиви перетворювачів одного типу. Згідно до зарубіжною стандартизацією, частота їх випромінювання становить, як правило, 40 кГц. Хоча є і інші стандарти.

1. ULTRASONIC CLEANER RKT - 30 Liters [29] від компанії R.K. Transonic Engineers.

Технічна специфікація зазначає що робочий басейн даного апарату становить 500 на 300 на 200 мм і розрахований на 30 літрів робочого розчину. На виході, ультразвукова потужність становить 600 Вт і сягає 1200 Вт на піку. А потужність нагрівача становить 500 Вт.

Працює дана модель на частоті 40 кГц, а також обладнана цифровими системами. Таймером і нагрівачем, при цьому максимальне значення таймеру — 30 хвилин. А температура у робочому басейні — 80 С. Вага апарату — 13 кг. В комплекті верхня кришка, кошик для інструменту.

Характеристики апарату

1. Більш високий коефіцієнт перетворення потужності ультразвукової хвилі, швидше очищення, більш висока ефективність очищення в порівнянні із звичайним методом.
2. Стерилізація заготовки, розчинення органічних забруднень і захист від корозії.
3. Виготовленні з витисненої нержавіючої сталі з захистом від іржі. Очисний резервуар з нержавіючої сталі SUS304, штампованої без зварного шва що надає водонепроникні властивості.
4. Температура очищення регулюється в діапазоні 20 ~ 80 ° С, час роботи контролюється в цифровому виді світлодіодом таблом в діапазоні від 0 ~ 30 хвилин.
5. Дренаж для швидкого скидання стічних вод після чищення.
6. Безпечний і надійний процес очищення без необхідності ручного втручання і без ушкодження поверхні заготовлі, використовуючи менше розчину, теплової енергії і робочої сили.

Область застосування

1. Видалення олії/мастила з деталей і вузлів, очищення деталей і вузлів двигуна, карбюратора і автомобілів, фільтрів і фільтрувальних сіток.



Рис. 6 Зображення приладу RKT – 30 L

2. Обробка поверхні: видалення олії і іржі перед нанесенням гальванічного покриття, очищення і фосфатування перед іонним покриттям, видалення вуглецю, що скупчився, окалини і полірувальної пасти, активація поверхні заготівлі.
3. Інструменти: очищення вимірювальних інструментів і тонке очищення прецизійних деталей перед складанням.
4. Електроніка: Очищення котушок і зварювальних плям на друкованій платі і очищення високовольтних контактів і інших електронних деталей.
5. Медичне обслуговування: Очищення, дезінфекція і стерилізація медичних приладів і лабораторного скляного посуду.
6. Напівпровідникові: Тонке очищення напівпровідникових чіпів.
7. Годинники і прикраси : Видалення жиру, бруду, окалини і полірувальної пасти.
8. Хімічні і біологічні речовини Очищення лабораторного скляного посуду.
9. Оптика: Очищення оптичних компонентів і лінз.

Оскільки це одна з найдетальніших специфікацій, за основу пропонується взяти саме її. Можна вивести основні характеристики апарату — цілнометалевий, водонепроникний басейн з нержавіючої сталі.

Для обробки об'єктів використовується так званий кошик, що являє собою конструкцію з дрібної сітки також з нержавіючої сталі. В конструкції передбачений нагрівний елемент для керування температурою, з урахуванням утворення побічного тепла внаслідок явища кавітації.

А також, варто звернути увагу на робочу частоту даного зразка. 40 кГц, як вже відомо, достатньо для утворення бульбашок середнього розміру, однак, їх колапс може привести до пошкодження більш чутливих виробів.

Далі, розглянемо дві моделі у широкому доступі, на шість літрів.

2. CO-Z 6L Professional Ultrasonic Cleaner [30]

Технічна специфікація зазначає що робочий басейн даного апарату становить 300 на 127 на 127 мм і розрахований на 6 літрів робочого розчину. На виході, ультразвукова потужність становить 180 Вт. А потужність нагрівача сягає 200 Вт. Працює дана модель також на частоті 40 кГц, а також обладнана цифровими системами. Таймером і нагрівачем, при цьому максимальне значення таймеру — також 30 хвилин. А температура у робочому басейні — 60 С. Вага апарату — 8.5 кг. В комплекті верхня кришка та кошик для інструменту.



Рис. 7 Зображення приладу
CO-Z 6L

Характеристика апарату.

1. Ультразвукові перетворювачі потужністю 60w (3x60Вт=180Вт)
2. Бак 1 мм товщиною з нержавіючої сталі, об'ємом на 6 літрів.
3. Кошик для очищення 29.9 x 14.9 x 14.9 сантиметра. Температура очищення 20-60С .

Також, варто звернути увагу, що у даній моделі вказана кількість випромінювачів, їх 3, кожний потужністю в 60 Вт. Розглядаючи інші моделі цього виробника, можна дізнатись яку кількість випромінювачів використовують для більших, чи менших об'ємів робочого басейну. Так для 6-ти літрів — 3 випромінювачі. 2 літри — 1 випромінювач. 3 літри — 2 випромінювачі. 10 літрів — 4 випромінювачі. 30 літрів 10 випромінювачів. При цьому, шляхом простих розрахунків, можна дізнатися, що у всіх моделях використовують однакові випромінювачі на 60 Вт. Також, що є досить важливим фактором, в специфікації вказано, що випромінювачі що вийшли з ладу можна замінювати тільки ідентичними, що говорить про те, що правильну роботу пристрою забезпечує робочий тандем однакових випромінювачів, оскільки

різниця конструкції, робочої частоти і інших факторів, може привести не тільки до зниження ефективності, а й до повного виходу пристрою з ладу.

Для порівняння, пропонується розглянути схожу модель, від іншої компанії.

3. DK SONIC 6L 180W [31]

Варто також зазначити, що параметри даного апарату майже ідентичні до попереднього. А саме — робоча потужність 180 Вт. 3 випромінювачі. 6 літрів об'єм робочого басейну апарату з параметрами 300 на 155 на 150 мм. Вага — 8 кг. Нагрівний елемент з максимальним значенням температури 80С. Однак, схоже, що є деяка різниця в цифровому обладнанні, оскільки на відміну від попереднього зразка, панель керування оформлена у механічних ручок. Одна — в постійному положенні для регулювання температури, а інша — з пружинним механізмом-таймером, для задання часу, який для цієї моделі становить 20 хвилин максимум. Але є змога поставити апарат в робоче положення на невизначений проміжок часу.



Рис. 8 Зображення приладу DK SONIC 6L

Характеристики апарату.

1. Водонепроникний внутрішній бак, кошик, дренаж, кришка зроблені з SUS304 нержавіючої сталі.
2. Температура задається аналоговим регулятором — ручкою з кроком у десять градусів "Температура +/-".
3. Ультразвукове очищення: 40 кГц підходить для інтенсивного очищення бруду і накипу на інструменті а також в глухих і глибоких отворах, функція нагріву

покращує очисний ефект для олії і воску, датчики високого рівня, які не викликають абразивного зносу внутрішнього бака.

4. Skymen JP-240ST [32]

Технічна специфікація даного приладу є також, однією за найдетальніших, тому детальне її вивчення надасть більш якісні знання досліджуваного матеріалу.

Технічний басейн розрахований на 77 літрів, а його параметри становлять 550 на 400 на 350 мм. Параметри самого ж апарату — 730 на 580 на 770 см. Потужність виходу ультразвукової енергії — регульована і варіюється від 480 до 1200 Вт. Потужність нагрівного елементу — 3000 Вт. Цифрові системи надають змогу задати час обробки від 1 хвилини до 99 хвилин, а температуру від 20С

до 80С. Робоча частота цього зразка також становить 40 кГц однак є можливість інший режим роботи, що використовує також частоту у 28 кГц так як вона сумісна для паралельного використання з випромінювачами на 40 кГц. Матеріал ванни — нержавіюча сталь марки SUS304 товщиною 2 мм, а корпус апарату виготовлений зі сталі тієї ж самої марки, однак товщиною 1 мм. В комплекті також є кошик з нержавіючої сталі, верхня кришка, і дренажний клапан. Для досягнення стабільного результату і роботи, у приладі були використані 24 випромінювача.

Характеристики товару.

1. Медичні застосування — підходить для очищення габаритних виробів уражених органічними залишками. Висока температура видаляє залишки жирів і олії,



Рис. 9 Зображення приладу Skymen JP-240T

ультразвукові випромінювачі забезпечують глибоке очищення у всіх важкодоступних частинах виробу.

2. Індустріальні — підходить для очищення великих поверхонь виробів з широкого спектру областей. Підходить для очищення деталей двигунів внутрішнього згорання, дисків, ободів, і інших запчастин.

Для більш наглядного порівняння, до уваги пропонується таблиця основних характеристик досліджуваних апаратів (Табл.2).

Таблиця 2.

Продукт	RKT - 30 Liters	CO-Z 6L	DK SONIC 6L	Skymen JP- 240ST
Частота	40 кГц	40 кГц	40 кГц	40\28 кГц
Об'єм технічного баку	30 л	6 л	6 л	77 л
Потужність	600 Вт	180 Вт	180 Вт	480-1200 Вт
Кількість перетворювачів	10	3	3	24

Як можна побачити, малолітражні апарати є практично ідентичними, за виключенням деяких рішень у реалізації панелі керування. Для досягнення максимального результату, виробник використав 3 перетворювачі на 60 Вт кожний. Варто зазначити, що на даний момент існують апарати, що застосовують декілька частот одночасно. Для досягнення бажаного ефекту, ці частоти підбираються так, щоб не заважати одна одній у роботі пристрою. Так, наприклад, апарат від Skymen застосовує випромінювачі і на 28 кГц, що спонукає утворення більших бульбашок і більш агресивну очисну дію.

Апарат від RKT є старшою моделлю, і використовує майже схожі до апарату CO-Z випромінювачі на 60 Вт.

В той же час, сильно відрізняється апарат фірми Skymen, що обладнаний більш сучасною системою контролю, що дозволяє задавати потужність апарату, а також, використовує випромінювачі працюючі на різних частотах. Однак, у такому очищувачі не варто обробляти хірургічні інструменти і інші дрібні деталі, через потужність кавітаційного процесу.

Дослідження показали, що найпоширенішою частотою для очищення медичного обладнання є 40 кГц, однак, зустрічалися зразки що працюють на частоті і 42 кГц, і 50 кГц і 35 кГц, як наприклад прилади фірми Bandelin.

1.4. Аналіз конструкційних рішень апаратів на основі патентних досліджень.

Пропонується розглянути деякі реалізації апаратів для ультразвукового очищення запропоновані в патентах у вільному доступі (Додатки А-В)

Запропонований патент US5865199 від 02.02.1999

В даному патенті (рис. 10) запропонована класична реалізація апарату, з перетворювачами позначеними як 24А та 24В. 32 та 30 — осцилятори, що відповідають за утворення хвилеподібного сигналу що подається на перетворювачі. 10 — бортик очисного басейну, 12 — сам басейн, 22 — дно басейну, 26 — випромінююча поверхня, герметично приєднана до перетворювачів. Варто відмітити що у даному випадку використовуються одночасно два типи перетворювачів.

На 40 кГц і на 80 кГц. Відповідно до розрахунків власника патенту дана комбінація надасть більш якісний результат.

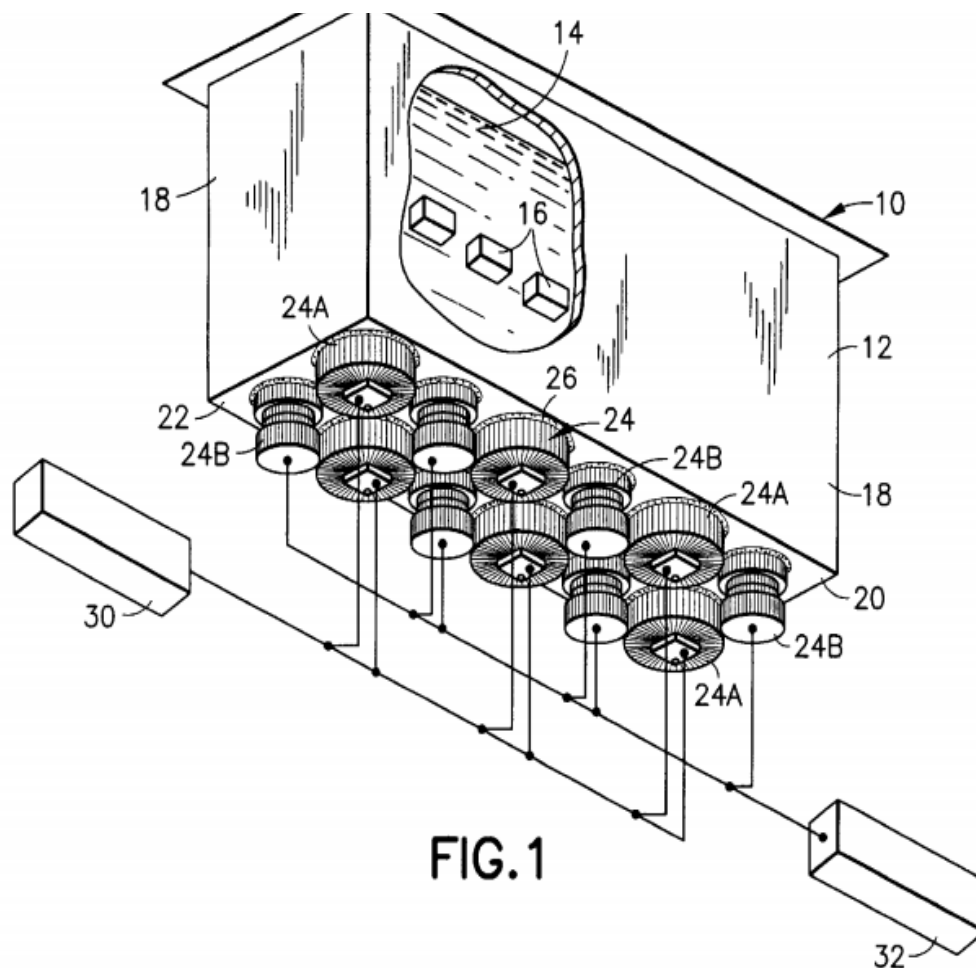


Рис. 10 Схематичне зображення приладу для УЗ очищення з патенту US5865199

Він також зазначає, що перетворювачі можливо замінити на більш пасуючі до потреб споживача в діапазоні від 20 кГц до 160 кГц. Однак, також зазначено що хоча перетворювачі що оперують більш високою частотою потребують менше енергії, через швидке розсіювання хвилі і її поглинання при проходженні через стінки басейна, оптимальна товщина стінки становить 1,22 мм.

Запропонований патент US4114194 від 09.12.1978.

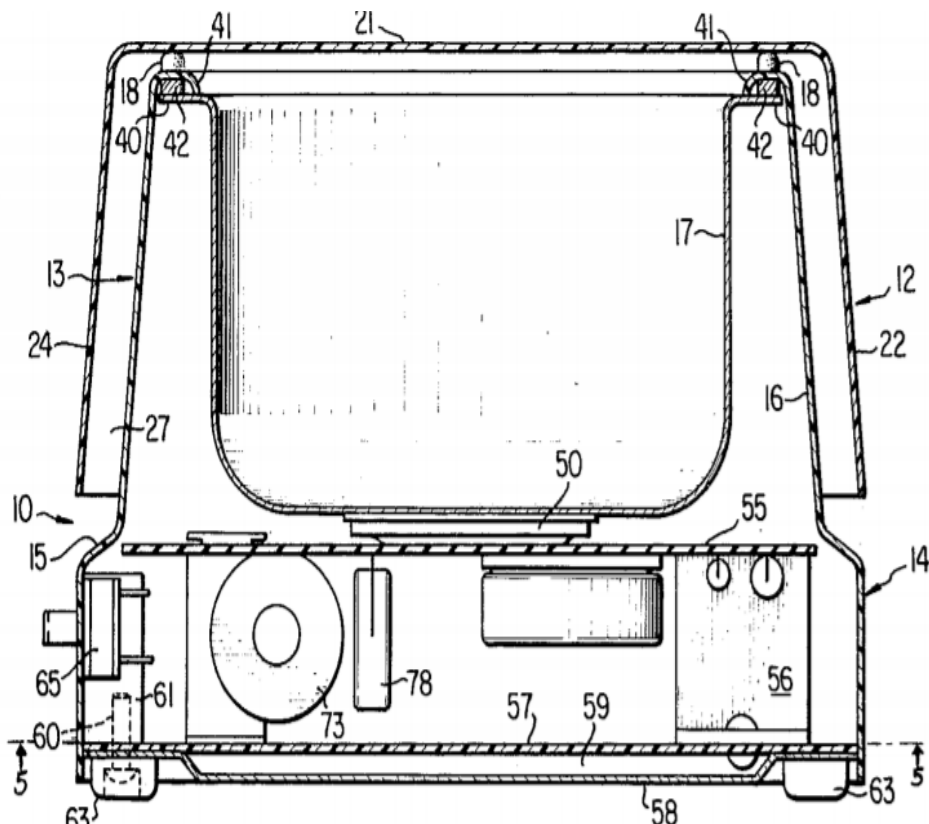


Рис. 11 Схематичне зображення приладу для УЗ очищення з патенту US4114194

У даному патенті, розрахункова споживана потужність становить 25-100 Вт, а вихідна 18-70 Вт. Оперує такий прилад на стандартизованій частоті в 40 кГц. Має один перетворювач 50. Більшість елементів являє собою технічну специфікацію, як наприклад болти 63, технічний щит 58, стінки кришки 24 і 22, гумові ніжки та упори 63, 18. Розрахований даний апарат на невеликий об'єм у 1 літр.

Оригінальну будову апарату для ультразвукового очищення пропонує власник патенту US2017/0036251 від 09.02.2017.

Цікавий даний апарат застосуванням фокусуючого принципу у вигляді витягнутого басейну з плавним куполом внизу.

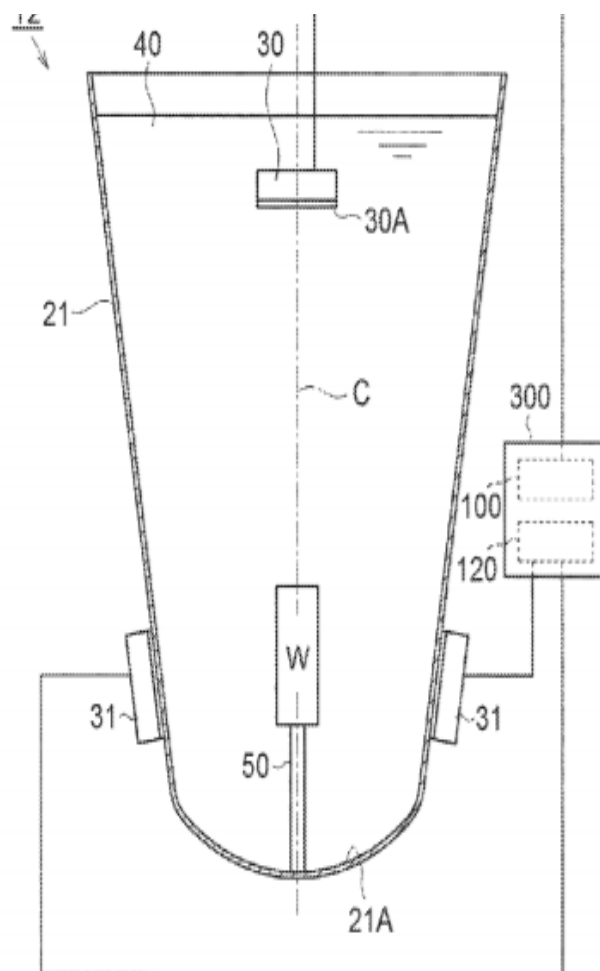


Рис. 12 Схематичне зображення приладу для УЗ очищення з патенту
US2017/0036251

Як можна побачити на зображенні (Рис. 12), басейну надана параболічна форма, що в теорії може підвищити ефективність очищення. На схемі використовуються два осцилятори 100 і 120 для живлення двох наборів випромінювачів 30 і 31 відповідно. Перетворювачі 31 встановлюються на стінки басейна напроти об'єкту очищення W, у кількості мінімум 2-х штук. Стінки басейну 21 вироблені з нержавіючої сталі. Перетворювач 30 занурений у миючий розчин і спрямований випромінюючою поверхнею до дна басейну. Завдяки принципу параболічного концентратора, хвилі, проходячи

через розчин, відбиваються від стінки 21А і спрямовуються до об'єкту очищення, утворюючи кавітаційні бульбашки поряд із ним. Об'єкт W є фокальною точкою для такого концентратора. Також, варто зазначити що дана схема підходить для більш низьких частот, оскільки високочастотні хвилі будуть розсіюватися не відбившись.

Отже. На сьогоднішній день у порівнянні конструктивних рішень минулих років, ультразвукові очисні прилади не дуже змінилися. Ультразвуковий, очисний прилад в традиційному і загальноприйнятому вигляді має технічний басейн прямокутної форми, один, чи набір ультразвукових перетворювачів, та електронну систему, що відповідає за утворення хвилі що живить перетворювачі. Звісно, є виключення, як можна було побачити на останньому розглянутому патенті. Такі пристрої пропонують нестандартні рішення для специфічних, нестандартних вимог. Також, варто відмітити, що останній патент був розрахований власником без теоретичного ґрунтування ефективності такої конструкції. Крім того, в деяких версіях цього патенту стінки басейну складалися з декількох шарів. Метал-буфер-метал. У ролі буфера виступав силіконовий гель. І хоча в патенті і була зазначена наявність такого шару, його функцію пояснено не було.

При виборі апарату для проектування, перевагу варто віддати класичній будові.

Висновки до першого розділу

В цьому розділі, були детально розглянуті різні аспекти ультразвукового очищення. На сьогоднішній день, при глобальній модернізації обладнання, перехід до сучасного, ультразвукового очисного обладнання є необхідним, а відкриття цієї технології для більш широкої публіки, є ключовим аспектом в покращенні роботи медичних структур. Переваги ультразвукового очищення, до аналогів — очевидні. Ультразвукове очищення це швидке рішення, що майже повністю виключає втручання

людини в процес очищення медичного обладнання. Дія кавітації на об'єкти очищення дає порівняно більший результат, ніж традиційні методи очищення, такі як ручне очищення, та очищення під тиском, використання якого не дає високих рівнів дезінфекції. УЗ очищення також є єдиним методом, що частково видаляє спорові забрудники з обладнання, у той час як аналоги, не надають такої змоги.

Ультразвукове обладнання для очищення є простим у використанні і в виготовленні. Згадування технології датується 1950-ми роками. Вона надійна і перевірена часом, але доступність і ефективність цієї технології залишає бажати кращого, саме тому доцільно продовжувати дослідження в цій сфері.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТУ НА СТРУКТУРНОМУ РІВНІ

Для того, щоб оформити повноцінний апарат для ультразвукового очищення, потрібно урахувати багато факторів. Як вже зазначалось раніше, на якість результату можуть впливати як параметри очисного розчину, так і параметри ультразвуку. Варто також урахувати прийняті стандарти для ультразвукового очищення.

Ціллю цієї розробки буде спрощення конструкції, зниження загальної вартості що зробить такий апарат більш доступним для широкої публіки.

Для досягнення мети було поставлено ряд завдань:

- Розглядання існуючих стандартів для очищення.
- Визначення параметрів що безпосередньо приймають участь у очищенні і їх розрахунок.
- Розглядання існуючих структурних схем і розробка.
- Визначення параметрів інших вузлів апарату і їх параметрів.

2.1. Розрахунок параметрів ультразвукового очищення

На даний момент, більшість апаратів для ультразвукового очищення оперують на частоті у 40 кГц, однак, існуючий стандарт ГОСТ Р 50664-94 від 21.04.94-го року, зазначає, що частоти на яких оперують ультразвукові, очисні установки знаходяться у межах 15.5-26.0 кГц і 35.0-50 кГц. Більш низькі частоти призначені для промислового очищення крупно-габаритних об'єктів, і дегазації рідин, а другий проміжок між 35 і 50 кГц - "Ультразвукові апарати різноманітного технологічного призначення" як зазначено в ГОСТі. Оскільки частота у 40 кГц потрапляє в цей проміжок, пропонується оперувати саме нею.

Далі, варто розрахувати “Поріг кавітації”. Це значення потужності, до якого кавітація у системі відбуватися не буде, відповідно до матеріалу у книжці Сverdліна. [29]

Відштовхуючись від такого співвідношення, можна вирахувати порогове значення потужності при якій кавітація буде відбуватися. Перша частина такого співвідношення враховує допустиму інтенсивність, що вираховується по формулі(11):

$$I=0.3(1+0.1z)^2 \quad (11)$$

Де z заглиблення перетворювача. Для нашого рівняння можна знехтувати значенням z , оскільки воно розраховувалось для занурення глибоководних антен та перетворювачів. Для нашого випадку значення z було взято за 1. Виходячи з цього, значення I стає константою інтенсивності, при перевищенні якої у системі ультразвукового очищувача буде відбуватися кавітація і дорівнює 1.21 Вт/м^2 .

Виходячи з нерівності, запропонованої в цьому ж джерелі для порогу кавітації, подано її обернену інтерпретацію.

$$\frac{Pa}{S_{\text{вип}}} \geq I \quad (12)$$

Де Pa — акустична потужність, а $S_{\text{вип}}$ — площа випромінювача.

При виборі випромінювача для пристрою необхідно урахувати співвідношення акустичної потужності до площі випромінювача і щоби це співвідношення було більше за одиницю, що найменше, на 30%. При таких параметрах в системі буде виникати кавітація, що і є метою цього розрахунку.

Для проведення ефективного очищення варто урахувати один сценарій розвитку зростання бульбашки — коли колапсація не відбувається і бульбашка покидає систему через власну плавучість. Щоб уникнути цього, варто скоригувати параметри системи, при яких буде відбуватися контрольована кавітація.

Знаючи базове рівняння можна розрахувати очікуваний радіус бульбашок для частоти 40 кГц.

$$40000 \times R \approx 3$$

Частота ультразвуку дана в Гц, а радіус бульбашки в метрах.

$$R \approx \frac{3}{40000} \approx 0.000075$$

Або ж 0.075 мм.

Далі, користуючись більш точною формулою і відштовхуючись від знайденого радіусу бульбашки, можна більш тонко коригувати параметри розчину для уникнення сценарію покидання системи бульбашкою.

$$R_r = \sqrt{\frac{3\gamma p_\infty}{\rho \omega^2}} \quad (13)$$

При таких умовах, бульбашки, що будуть виникати в розчині, матимуть доступ до усіх, навіть найскладніших поверхонь, не відриваючись до моменту колапсації, що і буде забезпечувати найкращий результат очищення.

2.2. Розробка структурної схеми апарату

Розглянемо будову апарату за допомогою простої блок схеми рис. 13

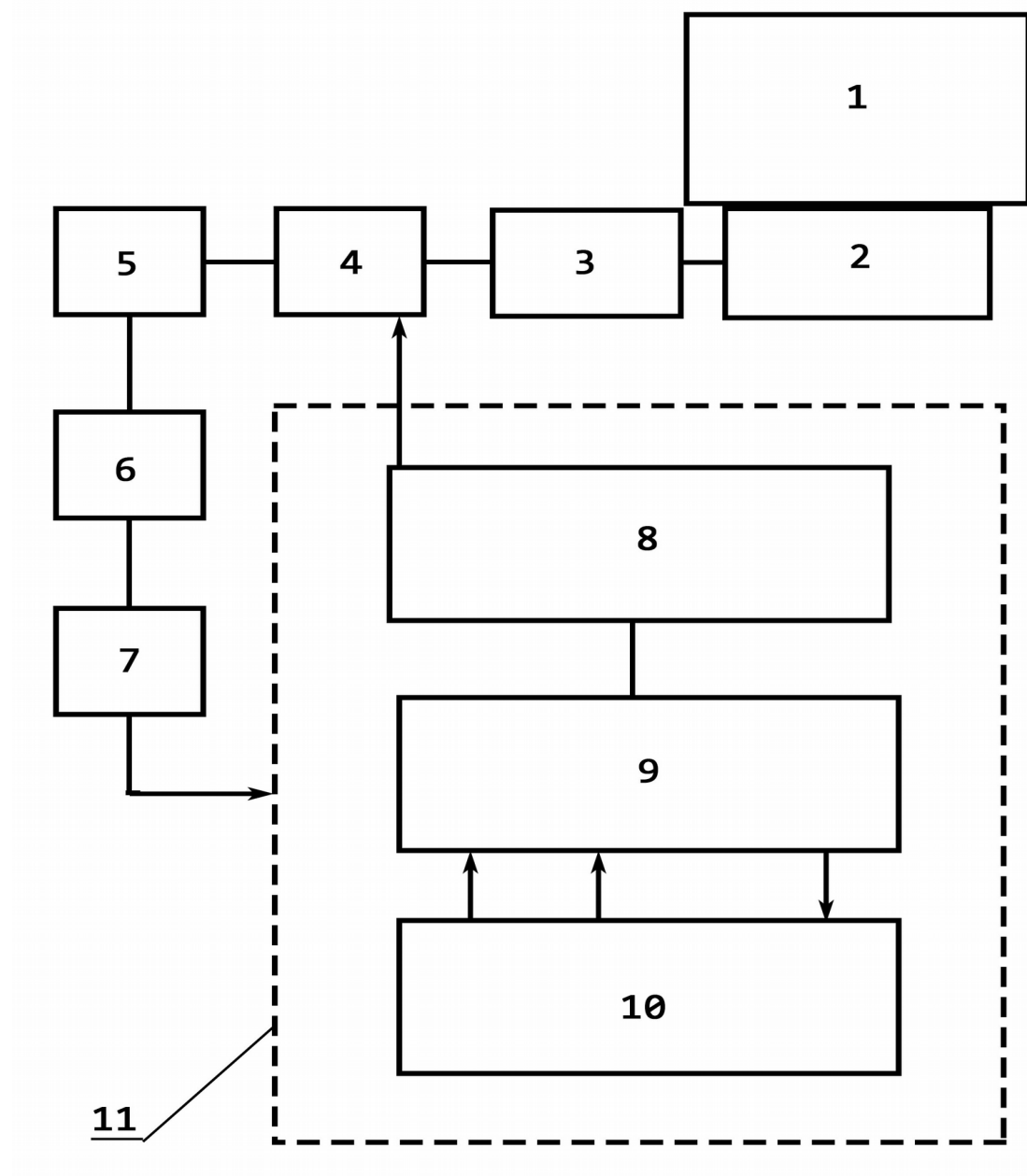


Рис. 13 Структурна блок-схема приладу для УЗ очищення

- 1 — Технічний басейн.
- 2 — Перетворювачі.
- 3 — Погоджуюча схема.
- 4 — Комутаційна схема.

- 5 — Джерело живлення.
- 6 — Ланцюг перемикання напруги мережі.
- 7 — Джерело живлення.
- 8 — Драйвер.
- 9 — Осцилятор.
- 10 — Лічильник.
- 11 — Схема модулятора.

Ланцюг перемикання мережевої напруги 6 дозволяє ультразвуковому очиснику працювати з доступною мережевою напругою, наприклад, 120 В змінного струму або 240 В змінного струму. Джерело живлення 5 отримує від перемикання мережевої напруги 6 відповідну потужність для приводних перетворювачів 2. Схема перемикання 4 адаптована для включення і виключення перетворювачів 2 на основі ультразвукового сигналу, що отримується від приводу 8. Погоджуюча схема 3 відповідає комутаційним коливанням комутаційної схеми 4 безпосередньо на перетворювачах 2, що викликає вібрацію перетворювачів 2 в рідині, утримуваною в місткості для ультразвукового очищення на ультразвуковій частоті.

Живлення 7 забезпечує відповідну низьку напругу ланцюга модулятора 11. Ланцюг модулятора 11 містить інтегральну схему, працюючу на стандартній логіці 5-вольта. Осцилятор 9 і лічильник 10 взаємодіють для отримання ультразвукового сигналу на привід 8, який має центральну частоту і модулюється як по амплітуді, так і по частоті. Драйвер 8, у свою чергу, передає цей сигнал на комутаційну схему 4.

Також, варто зазначити, кращою формою хвилі для зростання в ефективності є так звана прямокутна хвиля, або квадратна. Такі модуляції забезпечують більш "твердіший" імпульс на початку і наприкінці кавітаційної бульбашки при її колапсації. Окрім того, вважається що більш жорсткий зсув при наяві частотної похибки випромінювача, приводить до біль якісних результатів очищення цільового продукту.

Також, раніше вважалося що оптимальна потужність для ефективного очищення є 132 Вт на 3 літри, але з сучасними схемами, ефективність помітно збільшилися, до 140 Вт на 6 літрів.

В нашому випадку, краще використати більш просту схему. Реалізовані вузли вище можна замінити одним мікроконтролером, що є більш надійним варіантом для такого приладу, і може бути налаштованим у відповідності до потреб споживача.

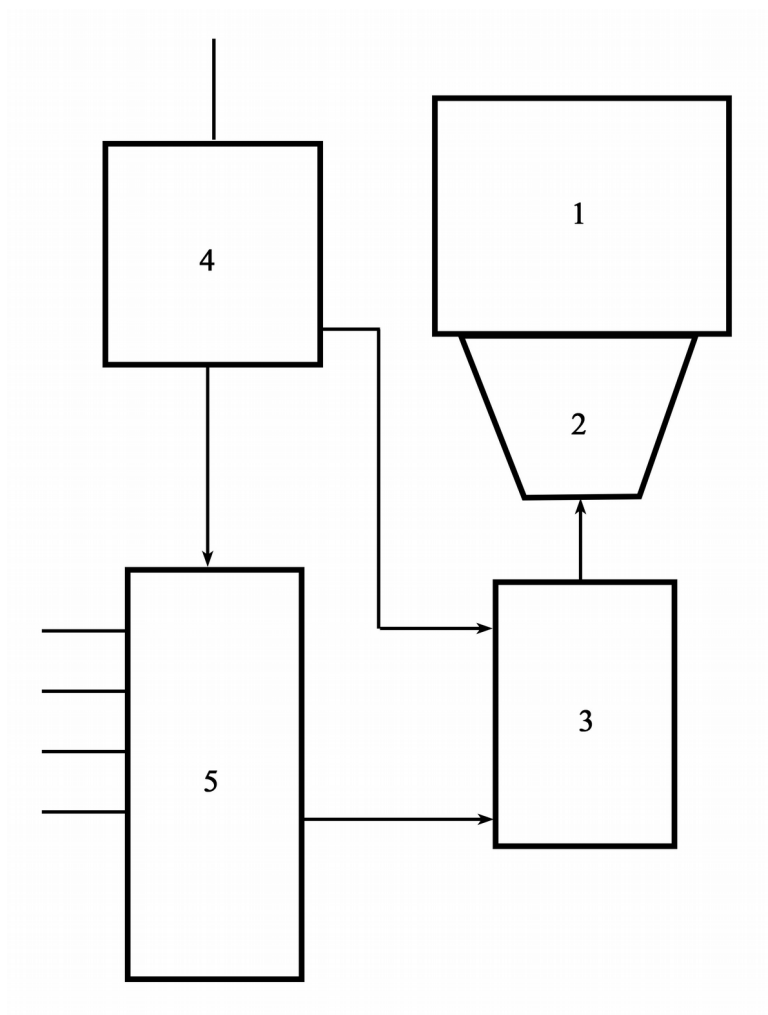


Рис. 14 Структурна блок-схема приладу для УЗ очищення реалізована через мікроконтроллер

- 1— Технічний басейн
- 2— Перетворювач
- 3— Схема живлення перетворювача
- 4— Живлення
- 5— Мікроконтролер

В даному випадку, живлення 4 конвертує мережевий змінний струм, у робочий, постійний, і одночасно розбиває його на два напрямки, низьковольтний для живлення мікросхеми, і високовольтний для живлення перетворювача, що проходить через схему живлення 3, завдяки якій можна коригувати постачання живлення до УЗ перетворювача.

Перетворювач 2 приводиться у роботу контрольованим живленням від відповідного вузла, яким керує базовий мікроконтролер 5.

Друга структурна схема є простішою у виконанні, а також більш дешевою, якщо порівнювати більшу ціну усіх вузлів на першій схемі. Також, факт того що другий приклад працює на мікроконтролері, робить його більш надійним, зменшуючи кількість вузлів що потенційно можуть вийти з ладу, отже за основу краще буде взяти саме її.

2.3. Вимоги до окремих блоків і вузлів апарату

Розглядаючи другу структурну схему, можна визначитися з змістом її блоків. По-перше, варто звернути увагу на параметри басейну для обробки виробів.

Враховуючи попередньо знайдену закономірність для потужності-об'єму на частоті ультразвуку у 40 кГц, можна допустити що розміри басейну для ефективного очищення, мають відповідати пропорції, щонайменше 30 Вт на 1 літр об'єму, який має вмістити басейн. Для менших частот може варіюватися. Також, одним з важливих факторів що впливає на ефективність очищення, є товщина стінок басейна, що має

становити не більше двох міліметрів, оскільки потовщення призведе до втрати ефективності через поглинання і розсіювання енергії басейном. Що стосується марки сталі, то в цьому випадку підійде дешева, але надійні марки мартенситної сталі, SUS420 J1,J2.

Перетворювач має мати робочу частоту у 40 кГц, як загальноприйнятий стандарт на сьогодні, а також, ураховуючи цілі дослідження, бути простим у конструктивному плані, дешевим, і надійним. Магнітострикційні перетворювачі містять у собі рухомі частини, що зношуються з плином часу, і може 40 років тому, такий тип перетворювача, підходив би для промислового очищення на низьких частотах, на сьогодні популярність здобули відносно дешеві, і доступні п'єзокерамічні перетворювачі.

У якості мікроконтролеру для схеми, варто розглядати Arduino Uno, або ж старші моделі. Мікроконтролер у нашому випадку, задає частоту імпульсів, що випромінює перетворювач, час роботи пристрою, опціонально, температуру води у ванні, а також виконує низку функцій для моделювання імпульсів і запобігання критичних ситуацій.

Схема живлення включає у себе понижувальний трансформатор, для живлення мікроконтролера, а також, трансформатор, для живлення самого перетворювача, який підбирається згідно до специфікації останнього. Звісно, до такої схеми також входять випрямлячі напруги, оскільки всі вузли працюють на постійному струмі.

Схема живлення перетворювача узгоджує роботу перетворювача і мікроконтролера, подаючи живлення у заданий проміжок часу, і з імпульсом, згідно до програми очищення.

Висновки до другого розділу

Отже, розгляд матеріалу з запропонованих патентів, та досліджень, надає змогу розробити детальну модель апарату для УЗ очищення. Застосування наданих

технологій і знань, надає змогу оптимізувати процес очищення, виключаючи зайві затрати енергії та людської сили, а використання сучасних технологій в разі спрощує виготовлення подібних приладів.

У той час, коли магнітострикційні перетворювачі були обмежені по спектру частот, займали багато місця і споживали порівняно більше енергії, сучасні, п'єзо-керамічні перетворювачі являють собою більш надійну, компактну і ефективну альтернативу.

Використання мікроконтролера, усуває більшість вузлів апарату, зменшуючи ризик виникнення неполадок, оскільки сучасні рішення також є більш надійними. Підходячи до питання з фінансового боку, ціна одного мікроконтролера, набагато менша ціни усіх компонентів що були б використані у старих схемах, навіть не враховуючи затратність процесу виробництва схем. Ще одним важливим плюсом використання мікроконтролера, є його компактність. Враховуючи що старі проекти вміщувалися на щонайменше на дві плати, в цьому випадку, розмір корпусу апарату буде зменшено до оптимальних показників, залишаючи корисне місце для комутації, і захисних заходів для чутливих компонентів.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ АПАРАТУ

Переходячи до нового розділу, важливо урахувати усі критичні знання що були отримані з минулих досліджень. Існуючі данні допоможуть правильно розрахувати фізичні параметри як самого приладу, так і ключових частин, таких як перетворювач і параметри технічного басейну.

3.1. Розробка конструкції електроакустичного перетворювача

Для того, щоб остаточно визначитися з типом будови перетворювача, згадаємо патенти що були розглянуті у минулих розділах. Майже у всіх приладах був використаний стрижневий, п'єзокерамічний перетворювач, на 40 кГц. Для розрахунку, потужність перетворювача візьмемо за стандартну для перетворювачів такого типу — 40 Вт. Цих даних вистачить для розрахунку фізичних параметрів перетворювача.

3.1.1. Опис конструкції електроакустичного перетворювача

Розглянемо існуючі конструкційні схеми п'єзокерамічних перетворювачів, на прикладі патентів.

Патент WO1997042790A1 від 13.11.1997, пропонує класичну будову п'єзокерамічного перетворювача у двох виконаннях.

Однак, у другій конструкції, база випромінювача 11, має циліндричну форму. Хоча така форма ніяк не впливає на площу контакту з п'єзокерамікою, збільшення загального об'єму бази призведе до зайвих втрат потужності, за рахунок поглинання матеріалом, у той час, як база, форми зрізаного конуса не має такого недоліку.

Для розгляду пропонується взяти саме другу, більш традиційну форму випромінювача.

WO 97/42790

PCT/US97/07845

2/6

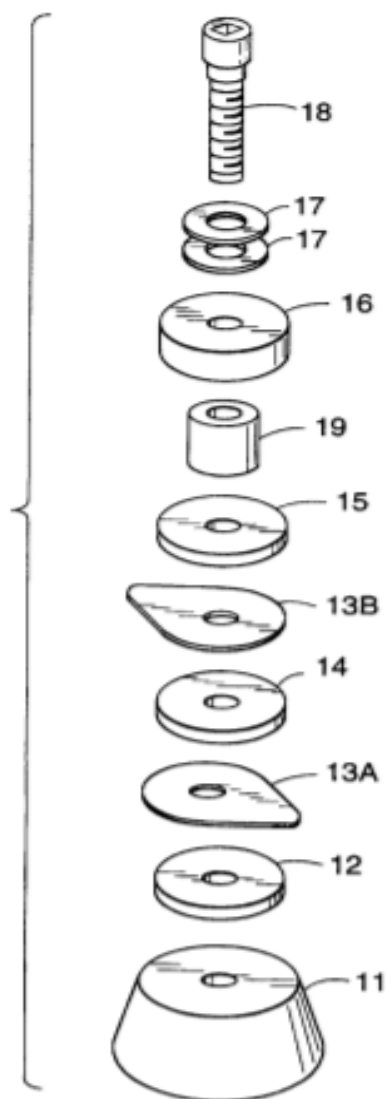


FIG. 2A

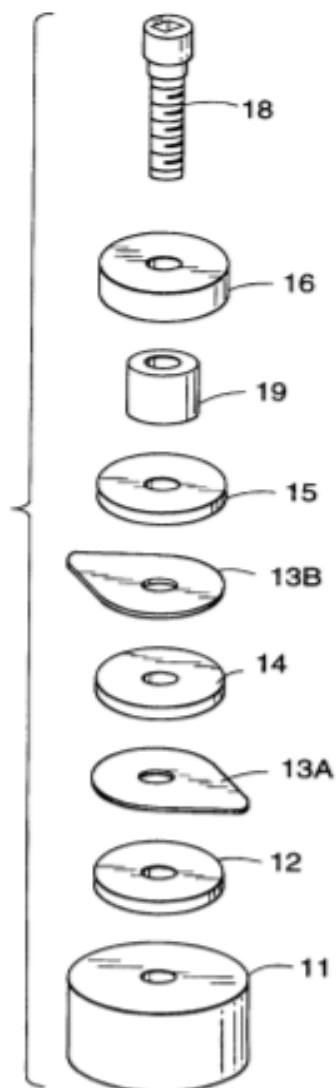


FIG. 2B

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

Рис. 15 Схематичне зображення складових п'єзокерамічного УЗ перетворювача.

11 — База перетворювача

12 — Резонаторний диск, або ж резонатор

13A — Електрод А

13В — Електрод В

14 — П'єзоелектричний кристал

15 — Ізолююча мембрана

16 — Рефлектор

17 — Шайби

18 — Болт

19 — Фенольна втулка

База перетворювача 11, зазвичай виготовлена з відповідного матеріалу, такого як алюміній, чи нержавіюча сталь, і призначена для кріплення до поверхні технічного басейну. Поряд з базою, знаходиться резонатор або ж резонуюче кільце 12, що виготовлено як правило з алюмінію, кераміки, сталі або освинцованої сталі. Резонуючий матеріал має бути з такими ж, або більшими параметрами передачі акустичної хвилі, ніж основний матеріал перетворювача. Він має розташовуватися між базою та п'єзокерамікою для досягнення найкращого ефекту. Роль резонатора в рівномірній передачі енергії до бази.

Електроди 13А і 13В зазвичай виготовляються з токопровідних матеріалів, таких як алюміній, латуні чи нержавіючої сталі.

П'єзокерамічний кристал 14 виготовляють з оксидів титану, цирконію та свинцю. Ізолятор 15 виготовляють з відомих діелектриків. Рефлектор має циліндричну форму і його зазвичай виготовляють з тих же матеріалів, що і базу випромінювача. Всі компоненти що зазначені вище, закріплюються болтом 18 до бази 11, утворюючи цілісну структуру.

3.1.2. Розрахунок електроакустичного перетворювача

Переходячи до розрахунку самого перетворювача, пропонується звернутися до методичних вказівок з навчального посібника для розрахунку електроакустичних п'єзокерамічних перетворювачів [30].

Приведена нижче формула дозволяє розрахувати фізичні параметри п'єзокерамічного перетворювача за при відомій робочій частоті (40 кГц) завдяки програмі в середовищі Матлаб. Програма працює за принципом підбору параметрів при відомій частоті і визначає фізичні параметри перетворювача віднайшовши усі дійсні параметри (див. Додаток Г).

$$\frac{\rho_1 C_1 S_1}{\rho_2 C_2^E S_2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l_1}{\lambda_1}\right) \cdot \frac{\rho_3 C_3 S_3}{\rho_2 C_2^E S_2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l_3}{\lambda_3}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l_2}{\lambda_2}\right) = \frac{\rho_1 C_1 S_1}{\rho_2 C_2^E S_2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l_1}{\lambda_1}\right) + \frac{\rho_3 C_3 S_3}{\rho_2 C_2^E S_2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l_3}{\lambda_3}\right) + \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l_2}{\lambda_2}\right) \quad (14)$$

Де:

ρ – густина

S – площа поперечного перерізу

C – швидкість звуку

l – довжини

λ – довжина хвилі

Також, дані з посібника дозволяють розрахувати деякі певні параметри для перетворювача, такі як марка сталі, п'єзокераміки та інших компонентів. Відповідно до отриманих параметрів, пропонується розглянуту будову перетворювача що підходить по параметрам для пристрою УЗ очищення.

За розрахунками, ми отримали наступні параметри.

$D_1=0.04$; - Діаметр нижньої накладки.

$D_{11}=0.045$; - Діаметри верхньої накладки.

$d_{2n}=d_1$; - Діаметр кілець п'єзокераміки.

$D_{2v}=0.012$; - Діаметр болта.

$H_1=0.020$; - Висота верхньої накладки.

$h_2=0.023$; - Висота кілець п'єзокераміки

$h_3=0.015$; - Висота нижньої накладки

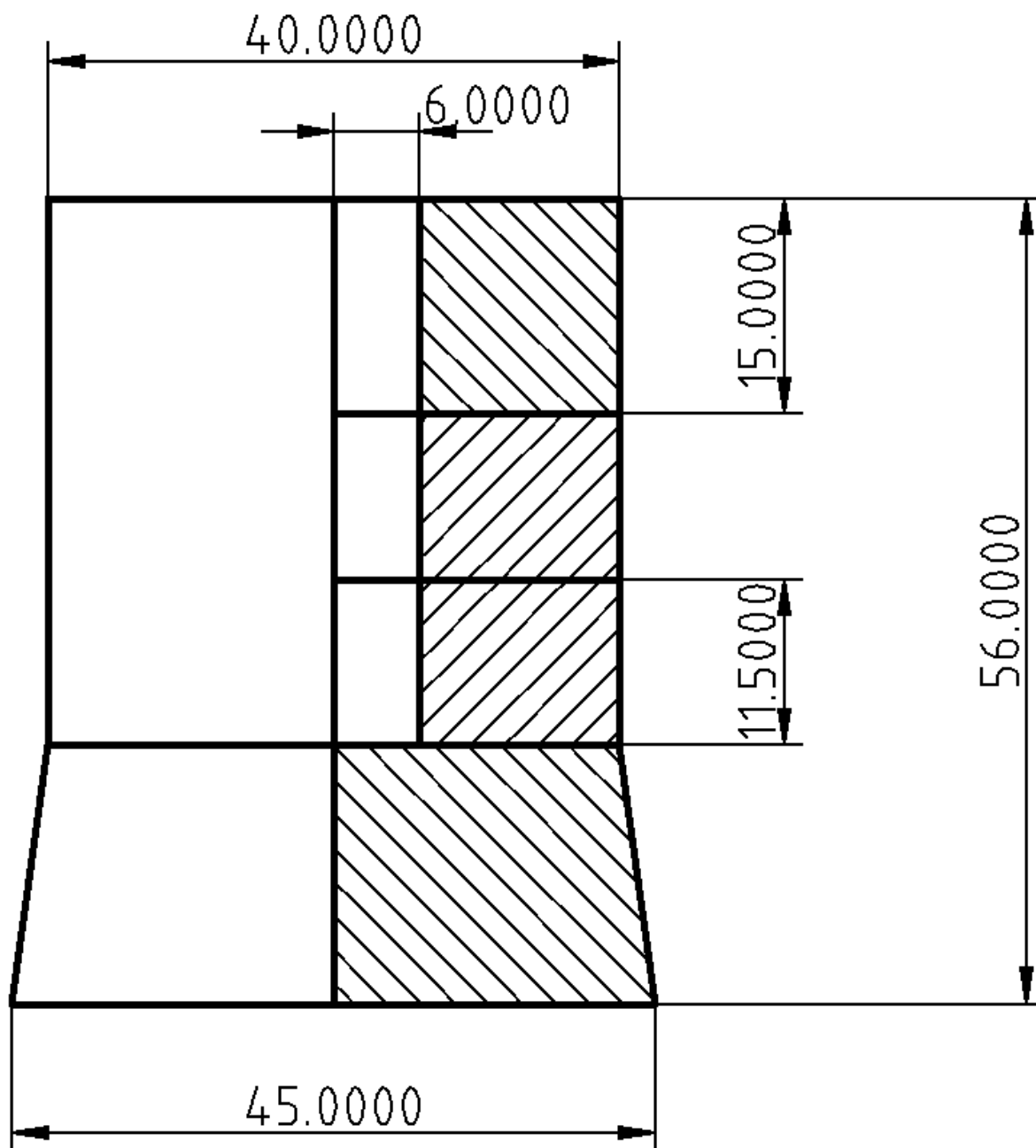


Рис. 16 Ескіз п'єзокерамічного перетворювача.

Таким чином, ми отримаємо загальне розуміння п'єзокерамічного перетворювача, що підходить для застосовування у поточній системі по параметрам.

Також, дані розрахунки дозволяють розрахувати марки матеріалів що слід застосувати у такій конструкції, а саме, сталь — Ст-10, п'єзокераміка — НБС-1.

3.2. Розробка принципової електричної схеми

Другим, по важливості елементом апарату для УЗ очищення, є елемент зазначений на Рис. 14, як “Схема живлення перетворювача”. Цей елемент є генератором, що оптимізує постійний струм для роботи з перетворювачем.

Ультразвукові електронні генератори — це пристрої що призначені для перетворення струму, в струм високої частоти і застосовуються для живлення УЗ перетворювачів. На сьогодні ультразвукові генератори виробляються на напівпровідникових пристроях, таких як транзистори і тиристори. Застосування тиристорних інверторів обмежено через низькі частотні властивості тиристорів.

Оскільки параметри транзисторів постійно покращуються, вони є найбільш перспективними пристроями і для нових розробок ультразвукових генераторів.

По виконанню на схемі, генератори можуть бути з незалежним збудником, з самозбудженням, з електричним чи акустичним автопідлаштуванням частоти.

Автоматичне підлаштування параметрів генератора при всій можливих змінах параметрів оброблювальних середовищ і розробка електричного генератора для спеціальних ультразвукових приладів являє собою досить складну задачу.

Найбільш цікавою і перспективною є схема генератора з незалежним збудником і автоматичним підлаштуванням частоти. До переваг таких схем можна віднести всі переваги схем генераторів з незалежним збудженням, а також, додається можливість автоматичного підлаштування частоти у відповідності зі зміною механічної частоти коливальної системи.

Побудова такого ультразвукового генератору на основі потужностей, що пропонують сучасні мікроконтролери, помітно спрощує задачу, оскільки узгодження між вузлами схеми відбувається практично миттєво. Це забезпечує стабільну та довговічну роботу схеми живлення.

1. Цікавість викликають схеми генераторів з автопілотуванням частоти, однак, вони несуть ряд недоліків.
2. Обмеження по максимальній потужності.
3. Обмежений діапазон варіації чи повна відсутність зміни потужності генератора.
4. Повна відсутність, або недостатньо швидка реакція системи автоматичного підтримування механічних кол-вань.
5. Відсутність систем захисту від нерегламентованих режимів роботи.
6. Зниження ефективності навіть при наявності системи авто-підлаштування на випадок зміни стану середовища обробки.

Відштовхуючись від інсуючих проблем систем живлення апаратів для УЗ очищення і потреб поточної розробки, була спроектована наступна схема:

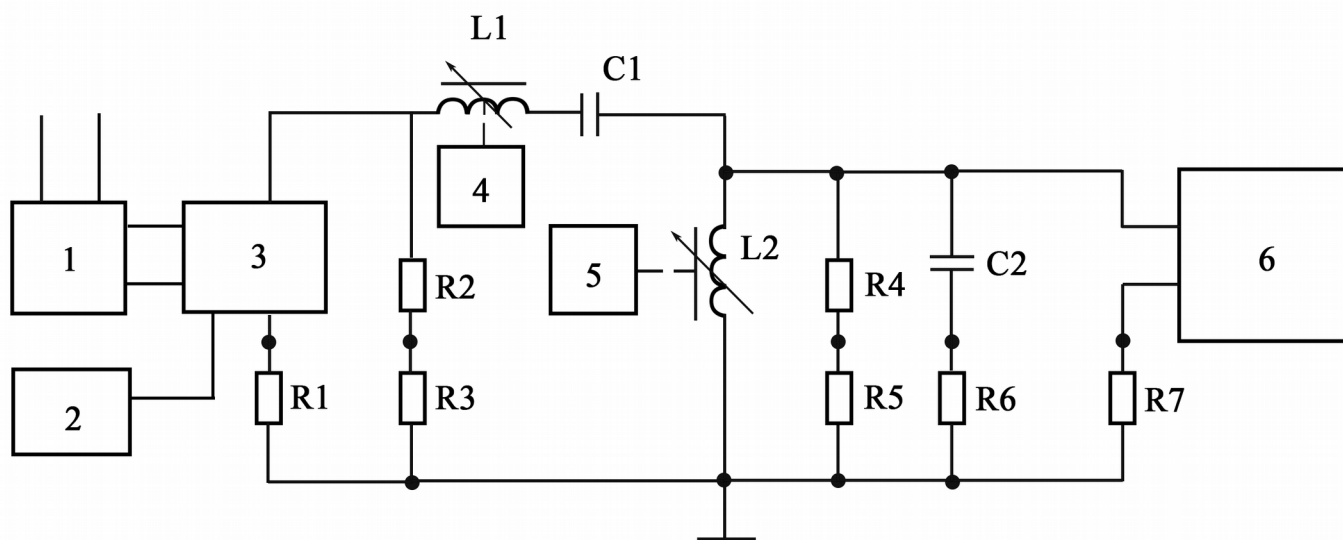


Рис. 17 Принципова електрична схема генератора для випромінювача.

- 1 — Регульоване джерело живлення постійного струму.
- 2 — Задаючий генератор.
- 3 — Вихідний каскад інвертора.
- 4, 5 — Виконуючі пристрої, що регулюють індуктивність дроселів.
- 6 — Ультразвукова, коливальна система.

R1, R6, R7 – Струмо-вимірювальні шунти.

R2, R3, R4, R5 – Дільники напруги (Попарно).

L1, L2 – Регульовані дроселі.

C1, C2 – Конденсатори постійної ємності.

Для контролю значень напруг і струмів в різноманітних ділянках електроакустичної системи використовуються два дільники напруги R2-R3 та R4-R5 і три струмовимірювальних шунти R1, R6, R7.

Відповідно до запропонованого способу керування, регулювання амплітуди вихідної напруги електронного генератора, реалізовується за рахунок постійної напруги живлення вихідного каскаду інвертору. Постійна напруга вихідного каскаду інвертору подається від регульованого джерела живлення. Велечина напруги встановлюється керуючим сигналом з мікроконтроллера. Контроль напруги також реалізований через виходи мікроконтроллера. Частота вихідної напруги електронного генератора визначається частотою імпульсів задаючого генератора. Частота імпульсів задаючого генератора визначається сигналом з виходу мікроконтроллера. Значення індуктивності дроселя L1 і L2, узгоджується з мікроконтроллером.

В процесі зміни частоти вихідної напруги електронного генератора, проводиться зміна індуктивності дроселей L1, L2, таким чином, щоб забезпечити рівність резонансних частот коливального контуру послідовного живлення і частоти вихідної напруги генератора.

Якщо в процесі очищення, чи через виснаження коливальної системи з часом, за рахунок втрати фізичних параметрів матеріалу, робоча частота відхилиться від регламентованої, схема живлення автоматично підлаштується під нову частоту, забезпечуючи довговічність і надійність такої конструкції.

В режимі ініціалізації ультразвукового впливу, потребується лише компенсувати вплив зміни параметрів технологічного середовища на режим перетворювача і передачі енергії. Оскільки в нашому випадку технічно, середовище є сталою, оскільки розчин

замінюється кожен цикл, такими засобами можна знехтувати. Значення абсолютних значень параметрів компонентів генератора, коливальної системи, технологічного середовища в даному випадку не потребується. Достатньо буде лише слідкувального режиму на випадок виникнення непередбачених ситуацій.

В режимі запуску апарату для утворення стійкого процесу кавітації, початкові параметри компонентів електроакустичного тракту ультразвукового апарату і технічних середовищ відомі, отже корективи в режим роботи перетворювача варто вносити лише в тому випадку, коли миючий засіб має суттєві відхилення від номінального.

Фактично, для повної автоматизації управління роботи апарату для очищення медичного обладнання, навідміну від схожих апаратів для утворення емульсій, тощо, потрібен лише один, основний режим роботи, оскільки суттєвих відхилень від параметрів елементів не очікується.

Але варто врахувати непередбачувані чинники зовні, чи помилки в роботі апарату при яких, можлива зміна деяких елементів системи. Допоміжний режим роботи буде діагностувати систему на наявність помилок і при виникненні таких, сигналізувати на засіб виведення інформації, при цьому, повністю припиняючи роботу апарату для уникнення виникнення критичних ситуацій.

Основний же режим роботи апарату буде забезпечувати оптимальний режим вводу енергії у коливальну систему і підтримання її на протязі всього циклу роботи апарату.

3.3. Будова апарату для ультразвукового очищення

Враховуючи здобуті знання, на цей момент, є можливим зробити приблизну схему апарату для очищення. За основу побудови апарату взято патент US4114194 від 09.12.1978 (Рис.11). Перетворювач кріпиться до дна технічного басейну. Басейн об'ємом на 1 літр, утримується над компонентами у підвішеному стані. Компоненти мають бути екрановані від впливу вологи.

Побудова апарата виконувалася відштовхуючись від існуючих фізичних параметрів перетворювача і технічного басейну.

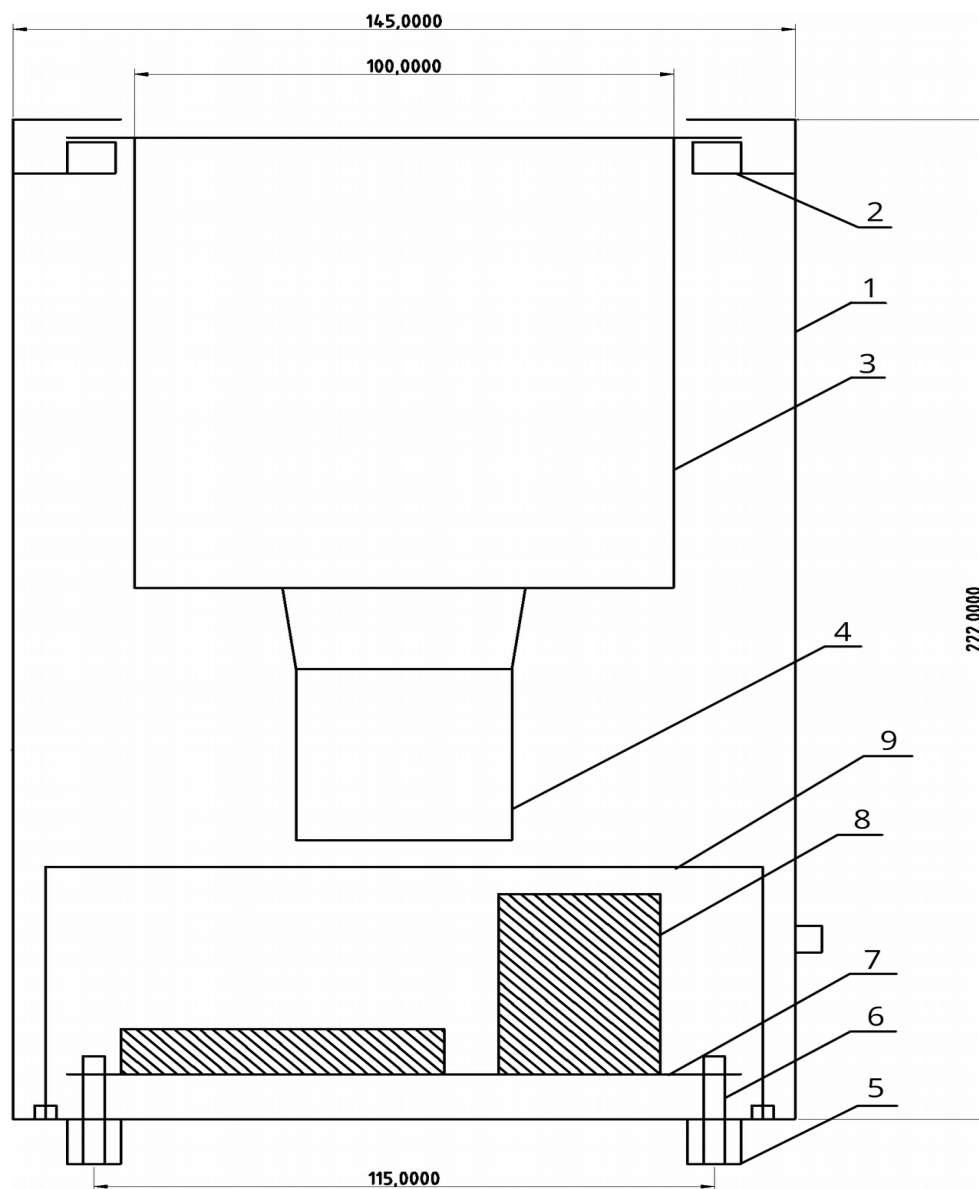


Рис. 18 Ескіз пристрою для УЗ очищення медичного обладнання.

- 1 — Корпус приладу.
- 2 — Тримачі із щільної гуми.
- 3 — Басейн.
- 4 — П'єзокерамічний перетворювач.
- 5 — Ніжки приладу.
- 6 — Болти.

7 — Плата.

8 — Габаритні елементи плати.

9 — Захисний кожух.

Корпус приладу 1 виконаний із нержавіючої сталі, тієї ж марки, що і технічний басейн 3. Басейн утримують тримачі 2, по всій поверхні бортика. Тримачі виконані із щільної гуми, для того щоб уникнути контакту басейну з корпусом апарату і одночасно не дати згаснути коливанням у точці утримання.

Перетворювач 4 прикріплений до дна басейну за допомогою силікатного клею і міцного, швидкозастигаючого композиту. Болти 6 що проходять через ніжки 5, утримують плату приладу, на якій розведено всі елементи. Під габаритні елементи плати 8, такі як трансформатори і окремо винесений мікроконтролер, відведено достатньо місця у корпусі. Кожух 9 захищає чутливі до зовнішніх чинників елементи перетворювача. Виконаний з ізолювальних матеріалів, таких як пластик, гетинакс, та ін..

Висновки до третього розділу

Таким чином, на основі існуючих патентів, розробок і літератури, було розраховано оптимальні параметри для складових приладу для УЗ очищення медичних приладів, а саме дві найголовніші складові такого приладу — схема живлення/генератор, та сам п'єзокерамічний перетворювач. Згідно до розрахунків, перетворювач такої конструкції споживає оптимальну кількість енергії для його стабільної, довговічної роботи. Схема була виконана у дещо спрощеному варіанті, виключаючи складні складові що можуть вийти з ладу не тільки через зовнішні чинники, а й через зношення складових.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

Протягом цієї роботи, були проведені поглиблені теоретичні дослідження з приводу фізичного змісту явища кавітації, та оптимізації цього процесу для задоволення потреб споживача. На основі цих досліджень були виведені оптимальні параметри для проведення контрольованої кавітації у акустичній системі. Оскільки загальні знання про це явище датуються дев'ятнадцятим сторіччям і були вдосконалені протягом багатьох років, варто було лише врахувати існуючі проблеми і уникнути їх у подальших розрахунках. Так, наприклад, для проведення у системі зростання кавітаційних бульбашок, за рахунок випрямної дифузії і коалесценції, потужність випромінювача має перевищувати теоретичний поріг кавітації, що найменше як на 30%. Подальше проходження цього процесу буде залежати від інших чинників, таких, як тим миючого розчину, та стабільність роботи випромінювача.

На прикладі існуючих приладів, доступних до широкої публіки, була розроблена оптимальна конструкція приладу, що уникає деяких очевидних дефектів, однак, варто зазначити, що для приладів більших за обсягом ніж шість літрів, прийнято встановлювати спускні клапани. В нашому випадку таке рішення буде неправильним, оскільки зменшить корисну площу поверхні очисного басейну.

Розробити подібний апарат, переслідуючи цілі економії і доступності було нестандартною задачею, що несе свої ускладнення. Згадуючи про використання у розробці мікроконтролеру, не означає що це є найкращим рішенням для загальної більшості засобів по очищенню за допомогою ультразвуку, однак, це є найкращим рішенням у даному випадку і відповідає поставленим цілям. Перетворювач і схема живлення також розроблені з такою думкою. Більш проста конструкція перетворювача значно знижує ціну, а використання у якості керувального інтерфейсу мікроконтролера, спрощує оперування приладом до одного натиску кнопки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. F.R. Young, Cavitation. McGraw-Hill, London (1989) pp. 1-418
2. C.E. Brennen, Cavitation and Bubble Dynamics. Oxford University Press, New York (1995).
3. T.S.H. Leong, T.J. Wooster, S.E. Kentish and M. Ashokkumar, “Minimising oil droplet size using ultrasonic emulsification” *Ultrason. Sonochem.* 16(6): 721-727 (2009)
4. K. Yasui, Fundamentals of acoustic cavitation and sonochemistry, in *Theoretical and Experimental Sonochemistry Involving Inorganic Systems*, Pankaj and M. Ashokkumar, Editors. 2011, Springer: New York. p. 1-30.
5. K. Yasui, T. Tuziuti, J. Lee, T. Kozuka, A. Towata and Y. Iida, “The range of ambient radius for an active bubble in sonoluminescence and sonochemical reactions” *J. Chem. Phys.* 128(18): 184705-184712 (2008)
6. K.S. Suslick and L.A. Crum, Sonochemistry and sonoluminescence, in *Handbook of Acoustics*, M.J. Crocker, Editor. 1998, Wiley Interscience: New York. p. 243-253.
7. R.E. Apfel and D.E. Peter, 7. Acoustic Cavitation, in *Methods in Experimental Physics*. 1981, Academic Press. p. 355-411.
8. R.E. Apfel, “Acoustic cavitation prediction” *J. Acoust. Soc. Am.* 69(6): 1624-1633 (1981)
9. M.H. Safar, “Comment on papers concerning rectified diffusion of cavitation bubbles” *J. Acoust. Soc. Am.* 43(5): 1188-1189 (1968)
10. F.G. Blake, Onset of Cavitation in Liquids, in *Acoustics Research Laboratory*. 1949, Harvard University: Cambridge.

11. E.A. Neppiras, "Acoustic cavitation thresholds and cyclic processes" *Ultra.* 18(5): 201-209 (1980)
12. K. Yasui, "Influence of ultrasonic frequency on multibubble sonoluminescence" *J. Acoust. Soc. Am.* 112(4): 1405-1413 (2002)
13. W.H. Besant, *Hydrostatics and Hydrodynamics*. Deighton Bell, Cambridge (1859).
14. B.E. Noltingk and E.A. Neppiras, "Cavitation produced by ultrasonics" *Proc. Phys. Soc. Sec. B* 63(9): 674 (1950)
15. E.A. Neppiras and B.E. Noltingk, "Cavitation Produced by Ultrasonics: Theoretical Conditions for the Onset of Cavitation" *Proc. Phys. Soc. Sec. B* 64(12): 1032 (1951)
16. P. Poritsky, The collapse or growth of a spherical bubble or cavity in a viscous fluid. in *Proceedings of the 1st US National Congress in Applied Mathematics (ASME)*. 1952
17. L.A. Crum, "Measurements of the growth of air bubbles by rectified diffusion" *J. Acoust. Soc. Am.* 68(1): 203-211 (1980)
18. A. Eller and H.G. Flynn, "Rectified diffusion during nonlinear pulsations of cavitation bubbles" *J. Acoust. Soc. Am.* 37(3): 493-& (1965)
19. M.S. Plesset and D.Y. Hsieh, "Theory of rectified diffusion" *J. Acoust. Soc. Am.* 33(3): 359-& (1961)
20. D.Y Hsieh and M.S. Plesset, "Theory of rectified diffusion of mass into gas bubbles" *J. Acoust. Soc. Am.* 33(2): 206-& (1961)
21. M.M. Fyrillas and A.J. Szeri, "Dissolution or growth of soluble spherical oscilalting bubbles" *J. Fluid Mech.* 277: 381-407 (1994)

22. M.M. Fyrillas and A.J. Szeri, "Surfactant dynamics and rectified diffusion of microbubbles" J. Fluid Mech. 311: 361- 378 (1996)
23. M.M. Fyrillas and A.J. Szeri, "Dissolution or growth of soluble spherical oscillating bubbles - The effect of surfactants" J. Fluid Mech. 289: 295-314 (1995)
24. F.W. Cain and J.C. Lee, "A technique for studying the drainage and rupture of unstable liquid films formed between two captive bubbles: Measurements on KCl solutions" J. Colloid Interface Sci. 106(1): 70-85 (1985)
25. V.S.J. Craig, B.W. Ninham and R.M. Pashley, "The effect of electrolytes on bubble coalescence in water" J. Phys. Chem. 97(39): 10192-10197 (1993)
26. R.V. Chaudhari and H. Hofmann, "Coalescence of gas-bubbles in liquids" Rev. Chem. Eng. 10(2): 131-190 (1994)
- 27 J. Lee, T. Tuziuti, K. Yasui, S. Kentish, F. Grieser, M. Ashokkumar and Y. Iida, "Influence of surface-active solutes on the coalescence, clustering, and fragmentation of acoustic bubbles confined in a microspace" J. Phys. Chem. C 111(51): 19015-19023 (2007)
28. D. Sunartio, M. Ashokkumar and F. Grieser, "Study of the coalescence of acoustic bubbles as a function of frequency, power, and water-soluble additives" J. Am. Chem. Soc. 129(18): 6031-6036 (2007)
- 29.<https://pdf.indiamart.com/impdf/14434875312/MY-1403215/ot-ultrasonic-cleaner.pdf>
- 30.<https://www.amazon.com/CO-Z-Professional-Ultrasonic-Instrument-Commercial/dp/B075FQPPYR?th=1#detail-bullets>
- 31.https://www.amazon.com/dp/B07BGV4GB8/ref=sspa_dk_detail_0?psc=1&pd_rd_i=B07BGV4GB8&pd_rd_w=uiSiI&pf_rd_p=48d372c1-f7e1-4b8b-9d02-

4bd86f5158c5&pd_rd_wg=pROrQ&pf_rd_r=FWJXTJQJARC9HE701GA4&pd_rd_r=23d9c376-e9de-4d71-bf96-c3bf86a639ed&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEyUElHTTBURDdQUFBMJmVuY3J5cHRlZElkPUEwNzI4NjUwSEc3WE8xM1QyVFIVJmVuY3J5cHRlZEFkSWQ9QTAwNzQ4NzFKMERWOVhOWEJDQjEmd2lkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhYWwmYWwYWN0aW9uPWNsaWNrUmVkaXJlY3QmZG9Ob3RMb2dDbGljaz10cnVl

32. <http://m.skymen-ultrasonics.com/industrial-ultrasonic-cleaner/single-tank-ultrasonic-cleaner/industrial-ultrasonic-cleaning-machine.html>

33. Свердлин Г.М. Гидроакустические преобразователи и антенны. - Л.:Судостроение, 1980. - 232 с., ил.

34. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (Розрахунок, проектування, конструкція.) Навчальний посібник. - Кіровоград: "Імекс-ЛТД", (2006)

ДОДАТКИ

United States Patent [19]
Walter

[11] **4,114,194**
 [45] **Sep. 12, 1978**

[54] **ULTRASONIC CLEANER**

[75] Inventor: **Henry J. Walter**, Wilton, Conn.

[73] Assignee: **Clairol, Inc.**, New York, N.Y.

[21] Appl. No.: **824,239**

[22] Filed: **Aug. 12, 1977**

Related U.S. Application Data

[63] Continuation of Ser. No. 679,409, Apr. 22, 1976, abandoned.

[51] Int. Cl.² **B01F 11/02**

[52] U.S. Cl. **366/111; 310/318**

[58] Field of Search **259/72, DIG. 44, 1 R;**
 134/184, 177, 57 DL; 200/61.62, 61.71, 61.7;
 220/1 E, 200, 356; 335/205; 366/111, 112, 116;
 310/801; 318/114

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,129,366	4/1964	Fry	318/114
3,161,742	12/1964	Bagno	335/208
3,254,284	5/1966	Tomes	318/118
3,266,653	8/1966	Gauthier	220/1 E
3,426,166	2/1969	Canoeil	200/61.62
3,469,211	9/1969	Shoh et al.	331/116 M
3,480,258	11/1969	Massa	366/111
3,487,237	12/1969	Krenke	310/8.1
3,575,383	4/1971	Coleman	134/184
3,581,125	5/1971	Arndt et al.	310/8.1
3,584,244	6/1971	Vest	310/8.1
3,590,321	6/1971	Scheidtweiler	200/61.62 X
3,595,532	7/1971	Doyle	366/111
3,596,206	7/1971	Loria	331/116 R
3,596,883	8/1971	Brech	366/115

3,651,352	3/1972	Puskas	310/8.1
3,678,331	4/1970	Racz	220/356
3,694,713	9/1972	Durem et al.	310/8.1 X
3,709,732	1/1973	Thomen	134/57 D
3,743,868	7/1973	Kawada	310/8.1
3,771,154	11/1973	Takei	200/61.62 X
3,778,648	12/1973	Kawada	310/8.1
3,806,852	4/1974	Suska	200/61.7
3,807,704	4/1974	Janzen et al.	366/111
3,809,977	5/1974	Balamuth	318/116
3,866,068	2/1975	Krenicki et al.	310/8.1

OTHER PUBLICATIONS

Charles W. Behens, *Portable Cleaner Sounds Out Toughest Dirt*. In *Appliance Manufacturer*, pp. 64-66, Apr. 1969.

Texas Instruments, Inc. *Transistor Circuit Design*. McGraw-Hill Book Co. pp. 180-183.

F. E. Terman, *Radio Engineers Handbook*. McGraw-Hill Book Co. 1943 pp. 480-483.

Primary Examiner—Billy S. Taylor

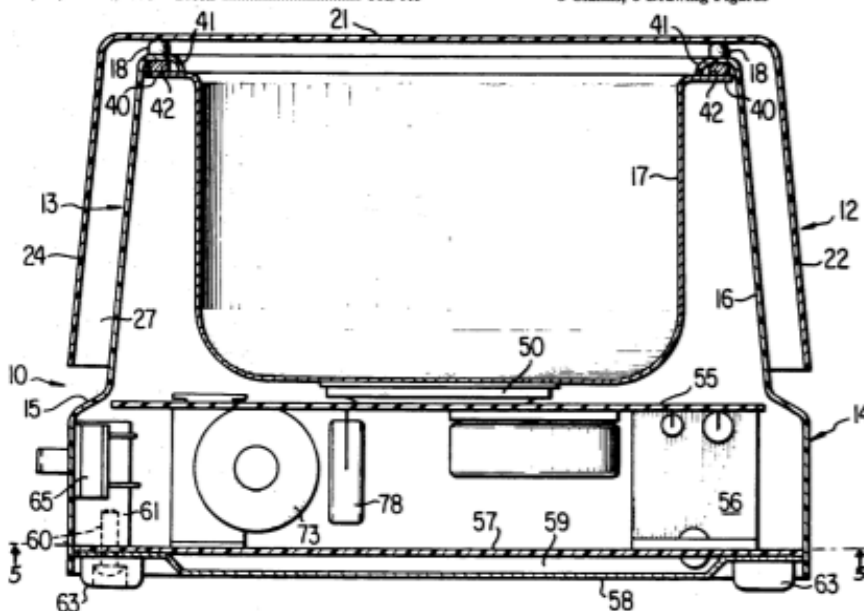
Attorney, Agent, or Firm—David J. Mugford; George A. Mentis; Samuel J. Duboff

[57]

ABSTRACT

An ultrasonic cleaner for domestic use includes a high-power circuit for driving an ultrasonic transducer and a low-power safety switch which enables the high-power circuit only when a cover is in place over the cleaner. The safety switch is a magnetically actuated reed switch, the contacts of which are closed by a magnet on the cover.

8 Claims, 6 Drawing Figures



Патент US2017/0036251 від 09.02.2017.



US 20170036251A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication**
Sato et al.(10) **Pub. No.: US 2017/0036251 A1**(43) **Pub. Date: Feb. 9, 2017**(54) **ULTRASONIC CLEANER**(52) **U.S. CL.**CPC **B08B 3/12** (2013.01)(71) Applicant: **Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha,**
Toyota-shi Aichi-ken (JP)(72) Inventors: **Takayasu Sato,** Takahama-shi
Aichi-ken (JP); **Yoji Sato,** Kasugai-shi
Aichi-ken (JP)

(57)

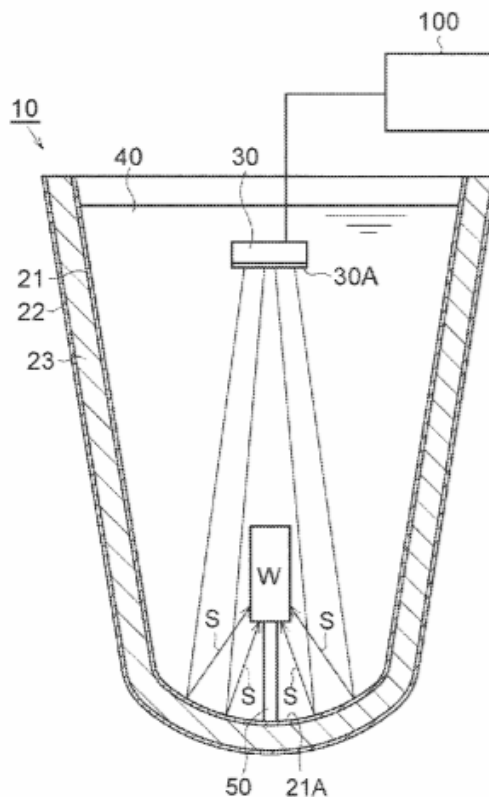
ABSTRACT(21) Appl. No.: **15/219,895**(22) Filed: **Jul. 26, 2016**(30) **Foreign Application Priority Data**

Aug. 6, 2015 (JP) 2015-155960

Publication Classification(51) **Int. Cl.****B08B 3/12**

(2006.01)

An ultrasonic cleaner is provided. The ultrasonic cleaner includes: a first ultrasonic vibrator configured to generate a first ultrasonic wave; a first oscillator configured to drive the first ultrasonic vibrator; a wash tank configured to store a detergent solution; and an attenuation mechanism configured to damp vibration of the wash tank. The wash tank includes a parabolic surface which is a recessed surface facing a vibration surface of the first ultrasonic vibrator, and is configured to reflect the first ultrasonic wave to a focal position where an object to be cleaned is placed. The vibration of the wash tank is generated by the first ultrasonic wave impinging on the wash tank.





US005865199A

United States Patent [19]

Pedziwiatr et al.

[11] **Patent Number:** **5,865,199**[45] **Date of Patent:** **Feb. 2, 1999**[54] **ULTRASONIC CLEANING APPARATUS**

[76] Inventors: **Michael P. Pedziwiatr**, 165 Jersey Ave., Greenwood Lake, N.Y. 10925;
Edward A. Pedziwiatr, 50 Glenview Ter., Cresskill, N.J. 07626

4,477,311 10/1984 Mimura et al. 134/1 X
 5,038,808 8/1991 Hammond et al. 134/1 X
 5,203,362 4/1993 Shibata 134/184
 5,247,954 9/1993 Grant et al. 134/184

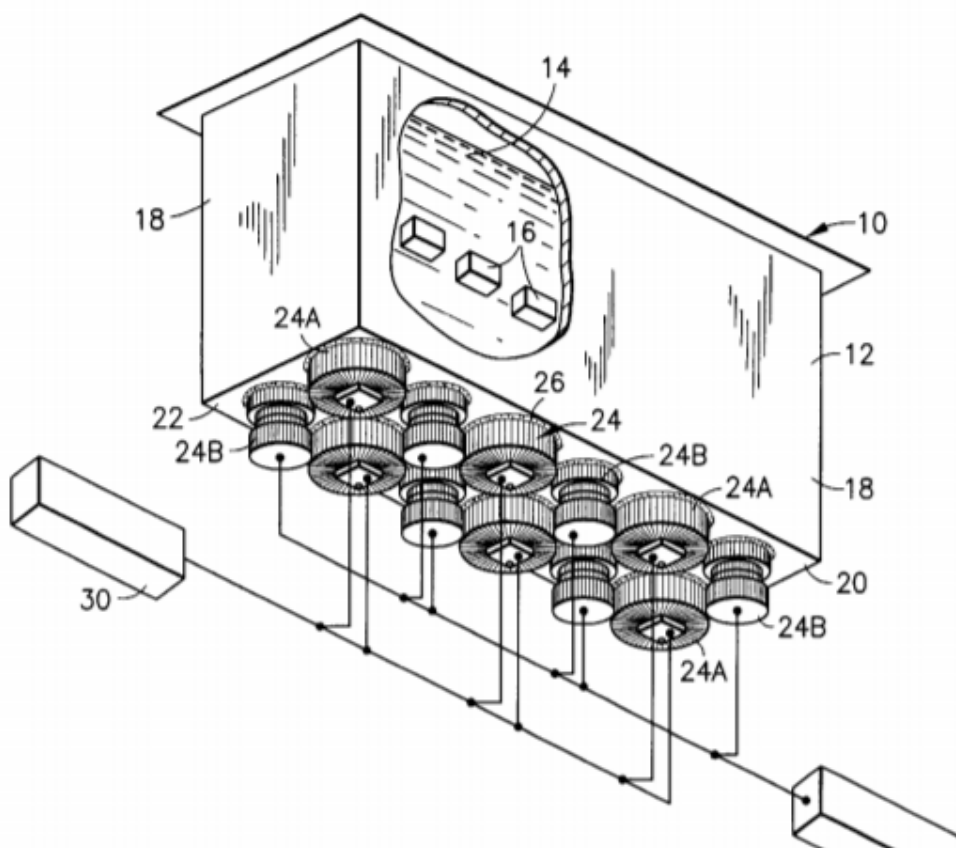
Primary Examiner—Philip R. Coe
Attorney, Agent, or Firm—Arthur Jacob

[21] Appl. No.: **961,817**[22] Filed: **Oct. 31, 1997**[51] **Int. Cl.⁶** **B08B 3/12**[52] **U.S. Cl.** **134/184; 134/1; 310/317; 310/322; 310/324**[58] **Field of Search** 134/184, 186, 134/1, 1.3; 68/355; 366/114, 115, 127; 310/317, 322, 324, 334[56] **References Cited****U.S. PATENT DOCUMENTS**

4,118,649 10/1978 Schwartzman et al. 134/184 X

[57] **ABSTRACT**

An improvement in ultrasonic cleaning in which articles to be cleaned are immersed in a bath subjected to ultrasonic energy emanating from ultrasonic transducers coupled to a vibratory diaphragm contiguous with the bath, the ultrasonic transducers being in multiple sets for providing ultrasonic energy at multiple ultrasonic frequencies at interspersed locations spaced apart a distance enabling the multiple sets of transducers simultaneously to transmit to the bath ultrasonic energy at the multiple ultrasonic frequencies without deleterious interference arising out of the simultaneous presence of the multiple ultrasonic frequencies.

26 Claims, 6 Drawing Sheets

Додаток Г

Код програми, що використовувалася для розрахунку параметрів
перетворювача.

```
clc

clear all
close all

syms f

%п'єзокераміка НБС-1

ro2=5.85*10^3;
Y2=1*10^11;
d33=214*10^(-12);
eps33_eps0=1350;
tgd=0.008;

%сталь Ст-10

ro3=7.8*10^3;
Y3=2.1*10^11;

d_1=0.04;
d_11=0.045;
d2n=d_1;
d2v=0.012;
h1=0.020;
h2=0.023;
h3=0.015;

%1.2

S1=(pi/4)*((d_1+d_11)/2)^2
S2=pi*((d2n^2-d2v^2)/4)
S3=S2
```

```

c1=sqrt(Y1/ro1)
c2=sqrt(Y2/ro2)
c3=sqrt(Y3/ro3)

```

```
%1.3
```

```

y=(ro1*c1*S1/(ro2*c2*S2))*tan(2*pi*h1*f/c1)*(ro3*c3*S3/
(ro2*c2*S2))*tan(2*pi*h3*f/c3)*tan(2*pi*h2*f/c2);
yy=(ro1*c1*S1/(ro2*c2*S2))*tan(2*pi*h1*f/c1)+(ro3*c3*S3/
(ro2*c2*S2))*tan(2*pi*h3*f/c3)+tan(2*pi*h2*f/c2);
% yy=y-yy;
ezplot(y,[3.9*10^5,4.1*10^5])
hold on
ezplot(yy,[3.9*10^5,4.1*10^5])
fr=40000;

```

```
%1.4
```

```

la1=c1/fr
la2=c2/fr
la3=c3/fr

```

```

l2_1=atan(ro2*c2*S2/(ro3*c3*S3*tan(2*pi*h3/la3)))*(la2/
(2*pi))
l2_2=atan(ro2*c2*S2/(ro3*c3*S3*tan(2*pi*h1/la1)))*(la2/
(2*pi))

```

```
%1.5
```

```

delta=h2/2
nakt=2*d33*Y2*S2/delta
nnakt=nakt*10^5
n=nakt*(sqrt(1+((ro1*c1*S1/(ro2*c2*S2))^2)*(tan(2*pi*h1/
la1))^2)+sqrt(1+((ro3*c3*S3/(ro2*c2*S2))^2)*(tan(2*pi*h3/
la3))^2))/(2*sqrt((1+((ro3*c3*S3/
(ro2*c2*S2))^2)*(tan(2*pi*h3/la3))^2)*(1+(tan(2*pi*h1/
la1))^2))))
nn=n*10^5

```


%1.6

```
mekv=ro1*h1*S1/2+ro2*h2*S2*((cos(2*pi*h1/la1))^2)/
(2*(sin(2*pi*l2_1/la2))^2)+ro3*h3*S3*((sin(2*pi*l2_2/
la2))^2)*((cos(2*pi*h1/la1))^2)/(2*((cos(2*pi*h3/
la3))^2)*((sin(2*pi*l2_1/la2))^2))
```

%1.7

```
Cekv=((2*pi^2)*(Y1*S1*h1/la1^2+Y2*S2*(h2/
la2^2)*(((cos(2*pi*h1/la1))^2))/((sin(2*pi*l2_1/
la2))^2)+Y3*S3*(h3/la3^2)*(((sin(2*pi*l2_2/la2))^2)/
((cos(2*pi*h3/la3))^2))*(((cos(2*pi*h1/la1))^2))/
((sin(2*pi*l2_1/la2))^2))))^(-1)
```

%1.8

```
eps0=8.85*10^(-12)
Sel=S2
L=2
Cnt=eps33_eps0*eps0*Sel/delta
Ct=Cnt*L
Kef=n^2*Cekv/Ct
C0s=Ct*(1-Kef)
C0=C0s
```

%1.9

```
Rev=1/(2*pi*fr*C0*tgd)
Revv=Rev*10^(-10)
```

%1.10

```
Qm=50
rmvp=2*pi*fr*mekv/Qm
```

%1.11

```
alfa=0.6
```

```
beta=0.1
```

```
rvyp=1000*1500*S1*alfa
```

```
xvyp=1000*1500*S1*beta
```

```
rmv=rmvp
```

```
mvyp=xvyp/(2*pi*fr)
```

```
f0=1/(2*pi*sqrt((mekv+mvyp)*Cekv))
```

```
%2.1
```

```
rm=rmv+rvyp
```

```
%2.2
```

```
xm=1/(2*pi*f0*Cekv)-2*pi*f0*(mekv+mvyp)
```

```
%2.3
```

```
Qm=2*pi*f0*(mekv+mvyp)/rm
```

```
%2.4
```

```
R0=(rm/nn^2)/(1+rm/(Rev*nn^2))
```

```
R00=R0*10^10
```

```
X0=1/(2*pi*f0*C0*10^10)
```

```
X00=X0*10^10
```

```
%2.5
```

```
Nuam=rvyp/rm
```

```
Nume=1/(1+rm/(Rev*nn^2))
```

```
Nuae=Nuam*Nume
```

```
%2.6
```

```
Wak=60
```

```
rez=R00*X00^2/(X00^2+R00^2)
```

```
UU=sqrt(Wak*rez/Nuae)
```

```
U=sqrt(Wak*R00/Nuae)
```

$U=UU$

%2.7

$W_{pyt}=W_{ak}/S_1$

$K_{dyn}=1$

$T_{dyn}=K_{dyn}*\sqrt{W_{pyt}/\alpha}*r_0^2*c^2*\sqrt{2}/\sqrt{1000*1500}$

%2.8

$K_{st}=S_3/S_2$

$q=1013250$

$T_{st}=K_{st}*q$

%2.9

$K_k=4*\pi*S_1*(f_0/1500)^2$

$r=1$

$p=(1/(2*r))*\sqrt{W_{ak}*1000*1500*K_k/\pi}$

$X=p*r/U$

%2.10

$\cos f_i=1/\sqrt{(R_{00}/X_{00})^2+1}$

%2.11

$v_0=U*10^{(-5)}*n_n/r_m$

$x_{i0}=v_0/(2*\pi*f_r)$